

Docket No.: A8319.0034/P034
(PATENT)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:
Yoshiaki Nagashima et al.

Application No.: Not Yet Assigned

Confirmation No.:

Filed: Concurrently Herewith

Art Unit: N/A

For: NONDESTRUCTIVE INSPECTION
APPARATUS AND NONDESTRUCTIVE
INSPECTION METHOD USING ELASTIC
GUIDED WAVE

Examiner: Not Yet Assigned

CLAIM FOR PRIORITY AND SUBMISSION OF DOCUMENTS

MS Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicant hereby claims priority under 35 U.S.C. 119 based on the following
prior foreign application filed in the following foreign country on the date indicated:

<u>Country</u>	<u>Application No.</u>	<u>Date</u>
Japan	2003-175683	June 20, 2003

Application No.: Not Yet Assigned

Docket No.: A8319.0034/P034

In support of this claim, a certified copy of the said original foreign application is filed herewith.

Dated: February 19, 2004

Respectfully submitted,

By 

Mark J. Thronson

Registration No.: 33,082

DICKSTEIN SHAPIRO MORIN &
OSHINSKY LLP

2101 L Street NW

Washington, DC 20037-1526

(202) 785-9700

Attorney for Applicant

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 6 月 2 0 日
Date of Application:

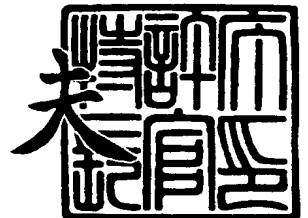
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 7 5 6 8 3
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 1 7 5 6 8 3]

出 願 人 株式会社日立製作所
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 1 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 9 2 8 4 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 1103001261

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01N 29/00

【発明の名称】 ガイド波を用いた非破壊検査装置及び非破壊検査方法

【請求項の数】 17

【発明者】

 【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号
株式会社 日立製作所 電力・電機開発研究所内

 【氏名】 永島 良昭

【発明者】

 【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号
株式会社 日立製作所 電力・電機開発研究所内

 【氏名】 小池 正浩

【発明者】

 【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号
株式会社 日立製作所 電力・電機開発研究所内

 【氏名】 松井 哲也

【特許出願人】

 【識別番号】 000005108

 【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代理人】

 【識別番号】 100075096

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 作田 康夫

 【電話番号】 03-3212-1111

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 013088

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】**【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ガイド波を用いた非破壊検査装置及び非破壊検査方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基準波形を用いて送信波形を作成する波形作成手段と、
前記送信波形に基づいて被検査体内にガイド波を発生させる送信素子と、
前記被検査体の検査領域から前記ガイド波の反射波を受信する受信素子と、
前記受信素子で受信した前記反射波の受信波形に基づいて得た検査情報を出力する解析手段と、
前記検査情報を表示する表示手段とを備えたガイド波を用いた非破壊検査装置

。

【請求項 2】

請求項 1 において、前記送信素子と前記受信素子とは、前記ガイド波の発生時と前記反射波の受信時に用いられる同一の素子であるガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 3】

前記基準波形は、受信素子に受信したい波形とした請求項 1 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 4】

前記波形作成手段が、前記反射波の前記受信素子で受信されるとき受信波形を計算する手段と、前記計算した受信波形で受信時間が遅いものから順に送信するように送信波形を作成する手段を備えた請求項 1 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 5】

前記表示手段が、基準波形を表示する手段を備える請求項 1 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 6】

前記表示手段が、前記送信波形を表示する手段を備える請求項 1 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 7】

前記波形作成手段が、前記被検査体の検査領域を前記ガイド波の伝播方向に複数の検査セグメントに分割したそれら各検査セグメント毎に少なくとも一つの前記送信波形を作成する手段を備えた請求項 1 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 8】

前記解析手段は、前記受信波形から、前記検査セグメントのある距離に相当する時間領域の受信波形部分を抽出し、前記抽出した受信波形部分を連結することで、前記検査領域の全域の受信波形を形成する手段を備えた請求項 7 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 9】

前記被検査体は配管であって、且つ前記送信素子と前記受信素子とが前記配管の周囲に円環状に複数配列され、前記ガイド波送信手段及び前記ガイド波受信手段に対して前記送信素子及び前記受信素子の接続を切り替える素子切替手段を有する請求項 1 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 10】

前記被検査体は配管であって、前記送信素子と前記受信素子を前記配管の円周方向に機械的に走査するスキャナを有する請求項 1 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

【請求項 11】

前記被検査体は配管であり、前記解析手段は、前記検査結果を前記配管の周方向を平面に展開した面に表示する検査画像の情報を作成して、前記情報の映像信号を出力する構成を備え、前記表示手段は、前記情報を受信して、前記検査画像を表示する構成を備えている請求項 1 に記載のガイド波を用いた非破壊検査装置。

。

【請求項 12】

基準波形を用いて送信波形を作成するステップと、
前記送信波形に基づいて被検査体内にガイド波を発生させるステップと、
前記被検査体の検査領域から前記ガイド波の反射波を受信素子で受信するステ

ップと、

前記受信素子で受信した前記反射波の受信波形に基づいて得た検査情報を得るステップと、

前記検査情報を表示するステップと、
を備えているガイド波を用いた非破壊検査方法。

【請求項 1 3】

前記被検査体の検査領域を前記ガイド波の伝播方向に複数の検査セグメントに分割するステップと、

前記検査セグメント毎に、前記検査セグメントを検査領域とする前記送信波形を作成して少なくとも 1 つの前記検査セグメントに一つの前記送信波形を割り当てるステップと、

前記割り当てられた前記送信波を用いて前記検査セグメント毎に反射波形を受信するステップと、

前記受信した反射波形から、前記検査セグメントに該当する位置からの受信波形部分を抽出するステップを含む請求項 1 2 に記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

【請求項 1 4】

前記抽出した受信波形部分を連結することで連結受信波形を得るステップを含む請求項 1 3 に記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

【請求項 1 5】

前記被検査体は配管であって、前記配管の検査領域を円周方向に複数の円周セグメントに分割するステップと、

前記円周セグメント毎に、前記受信波を得るステップと、

前記円周セグメント毎に、前記連結受信波形を得るステップと、
を含む請求項 1 4 に記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

【請求項 1 6】

前記円周セグメント毎に得た前記連結受信波形を用いた検査結果を、前記配管の平面展開図上に表示するステップを含む請求項 1 5 に記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

【請求項 1 7】

前記送信波形の周波数と前記被検査体の肉厚との関係が、周波数 (MH z) \times 肉厚 (mm) ≤ 0.5 、かつ周波数 (MH z) \times 肉厚 (mm) ≤ 4.0 を満足するようにされている請求項 1 2 乃至請求項 1 6 のいずれかに記載のガイド波を用いた非破壊検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、配管の劣化をガイド波を用いて長距離区間一括して検査する非破壊検査装置及び非破壊検査方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

各種プラントに用いられる配管は、建設から長期間が経過すると、その配管の内外面からの劣化、即ち腐食や侵食が顕在化してくる。これらの劣化が進行して配管の肉厚を貫通するまでに至ると、漏洩事故につながる恐れがある。このため、配管の肉厚の状態を、非破壊的な手段により評価し、漏洩に至る以前に、配管の交換や補修といった対策を施す必要がある。

【0 0 0 3】

音波を用いた非破壊測定手段の代表的なものに、超音波厚み計がある。超音波厚み計は、一般には、電気と音響を相互に変換する圧電素子から成る超音波センサを用いて、対象配管中にバルク波（縦波や横波といった弾性波）を励起して、配管底面で反射した弾性波を同一もしくは別の超音波センサで受信して、配管の肉厚を測定する装置である。

【0 0 0 4】

この装置は、受信波の受信時間を肉厚に換算するという測定原理上、高い精度で配管の肉厚を測定することができる一方で、検査範囲は、センサの大きさとはほぼ同等程度に限られる。長尺の配管のように検査要求範囲が広くなると、測定点の増加により、多大な検査時間を要するという欠点がある。また、保温材がある配管や、埋設配管、垂直配管などアクセス性に問題のある配管においては、検査

の準備・片付けに要する時間も多大である。

【0005】

このような問題に対する一つの対応策として、ガイド波（配管や板のように境界面を有する物体中を、反射やモード変換しながら進行する縦波・横波の干渉によって形成される弾性波）を用いて配管の長距離区間を一括して検査する方法がある。この方法は、ガイド波が配管の周方向断面積が変化する位置で反射する特徴を利用した方式である。配管の軸方向に、配管の中心軸に対して対称の単一モードのガイド波を伝播させて、その反射波の波高値や出現時間から減肉あるいは欠陥の大きさと軸方向位置を測定する。減肉あるいは欠陥以外に、溶接線からの反射波も得られるが、減肉あるいは欠陥からの反射波が、配管の中心軸に対して非軸対称に振動するのに対して、溶接線からの反射波が軸対称に振動する特徴を捉えて識別する（特に、特許文献1を参照）。

【0006】

また、検出信号と参照信号との相関を求めて、その相関の極大値に基づいて高精度に欠陥の位置等を特定する弾性波を用いた配管の検査装置（特に特許文献2を参照）が公知である。

【0007】

【特許文献1】

特表平10-507530号公報

【特許文献2】

特開2002-236113号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

前記の従来技術は、ガイド波の励振リングにトーンバースト波（4サイクルのトーンバースト波を図26に例示）を印加するとして説明されている。しかしながら、ガイド波は、音速が周波数によって変化する特性（以下、音速が周波数によって変化することを分散すると称し、この特性を分散特性と称する）を示すので、群速度（波束（波の塊）が進む速度）が、一定でない周波数帯域のガイド波を利用すると、遠方にある減肉や欠陥に対しての検出性能が低下する。

【0009】

この現象について詳細に説明する。例えば、材質が炭素鋼（縦波音速＝5940m/s，横波音速＝3260m/s）で、外径114.3mm，肉厚6mm（肉厚と外径の比が0.052）の配管の場合、周波数と肉厚の積とガイド波の音速の関係は、図27に示すようになることが理論的にわかっている。同図（a）は位相速度を示しており、51aはL（0，1）モード、52aはL（0，2）モード、53aはL（0，3）モード、54aはL（0，4）モードと呼ばれ、L（n，m）で表すmの数字が大きいほど板厚方向の変位分布が複雑になる。モードによる変位の特徴を模式的に示したのが図28であり、上から順にL（0，1）モード，L（0，2）モード，L（0，3）モードを示している。

【0010】

図27（b）は群速度を示しており、51bはL（0，1）モード、52bはL（0，2）モード、53bはL（0，3）モード、54bはL（0，4）モードである。L（0，2）モードの場合、約150kHz以下の帯域（周波数×肉厚＝0.9MHzmm以下）で群速度52bがほぼ一定になるが、300kHzから500kHzの付近（周波数×肉厚が1.8～3.0MHzmm）は、群速度52bが周波数によって大きく変化する。

【0011】

この理論を検証するために、外径114.3mm，肉厚6mm，長さ5500mmの配管に、端部から1500mmの位置に欠陥を施し、中心周波数500kHzのL（0，2）モードガイド波を送信して、欠陥からの反射波形を検出した。その結果を図29の説明図に示す。図29（a）は、センサを欠陥から200mm離して（配管端部から1700mmの位置に）設置した場合での反射波形であり、61は欠陥からの反射波形、62は配管端部からの反射波形である。図29（b）は、センサを欠陥から1000mm離して（配管端部から2500mmの位置に）設置した場合での反射波形であり、63は欠陥からの反射波形、64は配管端部からの反射波形である。欠陥からの反射波形である61と63を比較すると、センサと欠陥の距離が遠い反射波形63の方が、明らかに波動の持続時間が長くなっている。これは、前述したように音速が周波数によって異なる分散特性示すためで

あり、このような周波数帯域を使うと、ガイド波のエネルギーが、伝播距離が長くなるにしたがって時間軸上で広がって振幅が低下し、特に微小な割れや減肉の検出に支障をきたすこととなる。

【0012】

音速が分散する帯域は、一般に周波数が高い帯域に良く現れるので、周波数を下げるのが一つの対応策であるが、同時に波長が長くなるので、微小な欠陥に対しての感度が悪化することになる。

【0013】

本発明は、周波数で音速が分散する比較的周波数が高い帯域を利用しながらも、分散による振幅の低下を補償して、長距離区間を一括して検査可能な非破壊検査装置及びその方法を提供することを目的としている。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明の目的を達成するために、本発明の非破壊検査装置は、基準波形を用いて送信波形を作成する波形作成手段と、前記送信波形が印加されて被検査体内にガイド波を発生させる送信素子と、前記被検査体の検査領域から前記ガイド波の反射波を受信する受信素子と、前記受信素子で受信した前記反射波の受信波形に基づいて得た検査情報を出力する解析手段と、前記検査情報を表示する表示手段とを備えている。

【0015】

同じく、本発明の非破壊検査方法は、基準波形を用いて送信波形を作成するステップと、前記送信波形を送信素子に印加して被検査体内にガイド波を発生させるステップと、前記被検査体の検査領域から前記ガイド波の反射波を受信素子で受信するステップと、前記受信素子で受信した前記反射波の受信波形に基づいて得た検査情報を得るステップと、前記検査情報を表示するステップとを備えている。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の第1の実施形態における装置の構成を、図1から図3を用い

て説明する。図1は、本実施形態に係わる配管検査装置のブロック図であり、同図において、1はガイド波送受信素子であって送信素子と受信素子とにガイド波の発生時とそのガイド波の反射波の受信時に用いられる送受信共通の素子、2は送受信素子リング、3はガイド波送受信手段、4はA/D変換器、5は波形作成・解析手段、6は入力手段、7は表示手段である。ガイド波とは、超音波であって、配管や板のように境界面を有する物体中を、反射やモード変換しながら進行する縦波や横波の干渉によって形成される弾性波と定義される。ガイド波送受信素子1は、共通の圧電素子を、送信時には送信素子として、受信時には受信素子として用いられる。尚、送信素子専用の圧電素子と、受信素子専用の圧電素子を近接して備えるようにして、送受信の用途別に専用化してもかまわない。

【0017】

ガイド波送受信素子1は、配管9にガイド波を発生させる素子で、例えば圧電素子で構成されており、配管9に接触して配置され、ガイド波送受信手段3と同軸ケーブルを介して電氣的に接続されている。送受信素子リング2は、複数のガイド波送受信素子1を配管の周囲に円環状に把持する治具で、好ましくは、ガイド波送受信素子1を円周方向に等間隔に格納する構造を持ち、配管に対して着脱可能な構造とする。送受信素子リング2は、リング状のフレームをリングの直径に沿って切断した2分割の構造を有し、その分割端はネジで結合されてリング状に組み立てられている。したがって、配管9の外周囲にリング状のフレームを組み立てると送受信素子リング2は配管の外周に装着される。その送受信素子リング2のリング状のフレームの内側には、複数のガイド波送受信素子1が格納されるとともに、送受信素子リング2のリング状のフレームから配管9の外周面に向けて伸縮するバネで支持されている。そのため、その送受信素子リング2が配管9の外周面に装着されると、複数のガイド波送受信素子1がバネで配管9の外周面に押し当てられてガイド波送受信素子1から配管9に対してガイド波を発生させやすいようにされる。

【0018】

ガイド波送受信手段3は、ガイド波を送信するためにガイド波送受信素子1に送信波形を印加して、さらにガイド波送受信素子1からの受信波形を増幅する手

段で、波形作成・解析手段 5 とデジタルデータを通信できるように接続され、また、受信波形を、A/D 変換器 4 に送るように同軸ケーブルを介して接続されている。このガイド波送受信手段 3 は、例えば、送信波形の周波数を任意に設定できるシンセサイザ、もしくは任意波形発生器と、それらの信号を増幅するパワーアンプと、市販の超音波レシーバ、もしくは広帯域アンプで構成することができる。

【0019】

A/D 変換器 4 は、アナログ信号をデジタル信号に変換する機能を有し、ガイド波送受信手段 3 から出力されるガイド波の受信波形をデジタル波形として波形作成・解析手段 5 に通信するように接続される。この A/D 変換器 4 は、例えば、市販のオシロスコープやコンピュータ組み込み式のボードタイプが利用される。

【0020】

波形作成・解析手段 5 は、送信波形の作成や受信波形の解析を行うとともに、配管検査装置の全体の動作を統括する手段であって、コンピュータなどで構成でき、操作者の指示を受け付けるキーボードなどの入力手段 6 及び CRT などの表示手段 7 に接続される。

【0021】

次に、ガイド波送受信素子 1 の構成例を、図 2 を用いて説明する。同図において、101 はアクリル、102 は厚み振動子、103 は厚み振動子 102 から送信された縦波、9 は配管、8 は配管 9 を伝播するガイド波である。厚み振動子 102 は、配管 9 に対して縦波 103 を入射角度 θ で入射するように斜角に配置され、入射角度 θ は、屈折角度を 90° としたスネルの法則 $\theta = \sin^{-1}(C_w / c(\omega))$ で算定される。ここで、 C_w はアクリルの縦波音速、 $c(\omega)$ (ω はガイド波の中心角周波数) は、発生させたいモードの位相速度である。

【0022】

例えば、アクリルの縦波音速を 2720 m/s とすると、 $L(0, 2)$ モードの周波数 \times 肉厚 $= 3 \text{ MHz mm}$ では、位相速度が 3480 m/s (図 27 (a) 参照) なので、入射角 θ は 51° に決定される。なお、101 の材質はアクリルに

限らず、ポリスチレンやその他の樹脂系材質を用いることができる。

【0023】

図3は、ガイド波送受信手段3とガイド波送受信素子1との接続図である。同図において、1a, 1b, 1cはガイド波送受信素子であり、すべてガイド波送受信手段3に並列に接続されている。このため、ガイド波送受信手段3から印加された送信波形は、ガイド波送受信素子1a, 1b, 1cを同時に振動させることができる。

【0024】

次に、本発明の第1の実施形態における配管検査装置の動作を、図1, 図4, 図5, 図7、および波形作成・解析手段5の内部処理を示す図6のフローチャートを用いて説明する。初めに、波形作成・解析手段5は、検査条件の入力を求める(ステップS1)。このとき、表示手段7に、図4(a)に示す検査条件設定ウィンドウを表示し、配管の肉厚、材質もしくは音速(縦波と横波の音速)、および検査領域(ガイド波送受信素子1を原点(0mm)とする距離)の入力を求める。図4には記載していないが、さらに、配管の外径の入力を求めるようにしておいても良い。

【0025】

配管の材質が入力された場合、予め格納された材質と音速とを対応させるデータベースを参照し、入力された材質の縦波と横波の音速を求める。また、必要に応じて、図4(b)に示す基準波形選択／表示ウィンドウを表示し、後述する送信波形の基準となる基準波形の候補を複数表示して、選択を求める。また、サイクル数、中心周波数の入力を求め、入力された条件の基準波形を基準波形プレビューに表示して、入力を補助する。

【0026】

また、表示手段7に、図5に示す送信波形表示ウィンドウを表示し、検査領域を複数のセグメントに分割をするか否かを選択させるが、本実施形態は、セグメントを分割しない場合(Noにチェックマーク)についての説明である。

【0027】

すべての条件が入力されると、波形作成・解析手段5は、送信波形を自動作成

する（ステップ S 2）。送信波形の自動作成は、次に示す数式を波形作成・解析手段 5 中にソフトウェアとして実装することで実現されるが、この内容を図 7 を参照して説明する。

【0028】

初めに、基準波形 $u(t)$ （図 7（a））に、式（1）に基づくフーリエ変換を施して、複素フーリエ成分 $U(\omega)$ を求める。図 7（d）に示した波形が受信素子に受信したい波形であり、これが基準波形 $u(t)$ と同等の波形となる。

【0029】

【数 1】

$$U(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} u(t) e^{-i\omega t} dt \quad \cdots \text{式 (1)}$$

【0030】

次に、 $U(\omega)$ に、距離 d （ガイド波送受信素子 1 から検査領域 R の中心までの距離）を往復伝播したとき、すなわち距離 $2d$ を伝播したときに相当する位相遅延を与え、逆フーリエ変換を施して、距離 $2d$ 伝播後の計算波形 $u(2d, t)$ （図 7（b））を算出する（式（2））。最後に、式（4）により計算波形 $u(2d, t)$ を時間反転させて、送信波形 $u'(t)$ （図 7（c））を得る。

【0031】

【数 2】

$$u(2d, t) = 2\text{Re} \int_0^{\infty} U(\omega) e^{i(k(\omega)2d - \omega t)} d\omega \quad \cdots \text{式 (2)}$$

$$k(\omega) = \frac{\omega}{c(\omega)} \quad \cdots \text{式 (3)}$$

$$u'(t) = u(2d, t_{\max} - t) \quad \cdots \text{式 (4)}$$

【0032】

ここで、 ω は角周波数、 $c(\omega)$ はガイド波の位相速度、 t_{\max} は、群速度の最小値を c_{\min} とするときに $t_{\max} = 2d / c_{\min}$ で決定される時間である。なお

、ガイド波の位相速度 $c(\omega)$ は、J.L. Rose 著の “Ultrasonic Waves in Solid Media” の p p. 159-162 に述べられている特性方程式の数値解を解くことで求められることが知られているが、詳細は省略する。

【0033】

作成された送信波形 $u'(t)$ は、ガイド波送受信手段 3 に転送されるとともに、送信波形表示ウインドウ (図 5) に表示される。一例を挙げれば、検査領域 R が 500mm~1500mm であると、検査領域の中心は、1000mm であるので、距離 $d = 1000\text{mm}$ として、送信波形が計算され、送信波形プレビューに表示される。

【0034】

次に、ガイド波の送受信を行う (ステップ S 3)。ガイド波の送受信は、波形作成・解析手段 5 が、ガイド波送受信手段 3 へトリガ信号を送出することで開始される。トリガ信号を検出したガイド波送受信手段 3 は、ガイド波送受信素子 1 に送信波形を印加すると同時に、A/D 変換器 4 に対してトリガ信号を送信する。

【0035】

送信波形を印加されたガイド波送受信素子 1 は、機械的に振動することによって、配管 9 に対してガイド波 8 を励起する。ガイド波 8 は、配管 9 を軸方向に伝播するが、このうち、割れや減肉などの不連続な点 (D 0) で反射した成分は、ガイド波送受信素子 1 で受信され、受信波形としてガイド波送受信手段 3 に入力される。ガイド波送受信手段 3 は、受信波形を増幅して、増幅した受信波形を A/D 変換器 4 に送る。

【0036】

A/D 変換器 4 は、ガイド波送受信手段 3 がガイド波送受信素子 1 に送信波形を印加すると同時に発生させたトリガ信号に同期して、信号のデジタル化を開始しており、増幅した受信波形は、A/D 変換器 4 でデジタル信号に変換され、波形作成・解析手段 5 に転送される。次に、検査情報として検査結果を表示する (ステップ S 4)。この場合の検査結果は、時間もしくは距離を横軸として波形で表示される。以上で、動作を終了する。

【0037】

次に、本発明の第1の実施形態により、欠陥のある配管を実際に検査した試験結果の例を、図8と図9を用いて説明する。試験に用いた配管は、発明が解決しようとする課題の中で述べたものと同じく、外径114.3mm、肉厚6mm、長さ5500mmの炭素鋼管であり、端部から1500mmの位置に欠陥を施してある。

【0038】

ガイド波送受信素子1を欠陥から1000mmの位置（端部からは2500mm）に配置し、本実施形態により検査を実施した。検査条件設定ウィンドウで、配管の肉厚を6mm、材質を炭素鋼、検査領域を500mm～1500mmと入力し、基準波形選択／表示ウィンドウで、トーンバースト波を選択し、サイクル数を4、中心周波数を500kHzと入力した。このとき送信波形表示ウィンドウに表示される送信波形は図8のようになる。また、検査情報としての検査結果は、図9（b）の通りであり、通常を送信波形を用いた場合である図9（a）と比較すると、時間軸上での波の広がりが増大することが確認された。

【0039】

なお、L（0，1）モードやL（0，2）モードの群速度（図27の51bや52b）が大きく変わる領域では、通常を送信波形を用いた波形（図9（a）の63に相当）の時間軸上の広がりが増大するので、本実施形態を適用することでW24のような波形になり、波形の時間軸上の広がりを抑制する効果が非常に高い。具体的には、周波数（MHz）×肉厚（mm）が0.5から4.0の領域で用いるのが良い。

【0040】

前述した本発明の第1の実施形態によれば、周波数で音速が分散する比較的周波数が高い帯域を利用しながらも、配管の特定の位置において、分散による振幅の低下を補償することができるので、配管の特定の位置における欠陥の検出感度を向上することができる。

【0041】

次に、本発明の第2の実施形態として、検査領域を軸方向に複数のセグメントに分割して各セグメント毎に送信波形を割り当てて検査する実施形態を説明する

。本実施形態に係わる配管検査装置のブロック図は、第1の実施形態のブロック図である図1と同じであるので、説明は省略する。

【0042】

本発明の第2の実施形態における配管検査装置の動作を、図10、図13、および波形作成・解析手段5の内部処理を示す図6、図11、図12のフローチャートを用いて説明する。初めに、波形作成・解析手段5は、検査条件の入力を求める（ステップS1）。このときの動作は、本発明の第1の実施形態に準じるが、本実施の形態では、図10（a）に示す例のように送信波形表示ウインドウにおいて、セグメント分割でYesを選択する。このとき、検査セグメントの分割条件はセグメント数で入力され、波形作成・解析手段5は、各検査セグメント長さが同じになるように検査セグメントを決定し、ガイド波送受信素子1に近い順にセグメントに番号を割り当てる。

【0043】

また、図10（b）に示すように、検査セグメントの区間が個別に入力されるようにもできる。すべての条件が入力されると、波形作成・解析手段5は、送信波形を自動作成する（ステップS2）。この内容を図11のフローチャートを用いて説明する。はじめに、検査セグメントを示す変数jに1を代入する（ステップS201）。次に、変数jがセグメント数以下かどうか判定を行う（ステップS202）。j=1のときはYesの判定となるので、ステップS203に進むが、このときNoの判定であればステップS206に進む。次に、基準波形 $u(t)$ と、ガイド波送受信素子1から第jの検査セグメントの中心までの距離dをもとに、送信波形 $u'(t)$ を演算する（ステップS203）。このときの演算内容は、本発明の第1の実施形態と同じであるので、説明は省略する。

【0044】

次に、送信波形 $u'(t)$ をメモリに格納する（ステップS204）。次に、変数jに1を加算する（ステップS205）。次に、ステップS202に戻るが、変数jがセグメント数以下の間は、S202→S203→S204→S205を繰り返し、全ての検査セグメントに対して送信波形 $u'(t)$ を算出する。変数jがセグメント数を超えた場合、波形作成・解析手段5はガイド波送受信手段3に

一連の送信波形 $u'(t)$ を転送する (ステップ S 206)。

【0045】

以上のステップで、送信波形の作成処理を終了する。作成されたすべての送信波形は、送信波形表示ウインドウ (図 10) に表示され、確認できるようになっている。次に、波形作成・解析手段 5 は、ガイド波を送受信する (ステップ S 3)。このときの動作は、本発明の第 1 の実施形態と同じであるが、波形作成・解析手段 5 が、ガイド波送受信手段 3 へトリガ信号を送出する前に、送信波形選択信号を送出し、送信信号を選択するステップが追加される。

【0046】

次に、検査情報である検査結果を解析・表示する (ステップ S 4)。この内容を、図 12 のフローチャートと図 13 を用いて説明する。はじめに、波形作成・解析手段 5 は、検査セグメントを示す変数 j に 1 を代入する (ステップ S 401)。次に、変数 j がセグメント数以下かどうか判定を行う (ステップ S 402)。 $j = 1$ のときは Yes の判定となるので、ステップ S 403 に進むが、このとき No の判定であればステップ S 405 に進む。次に、検査セグメント j の受信波形を読み出す (ステップ S 403)。

【0047】

次に、検査セグメントを示す変数 j に 1 を加算してメモリに格納し (ステップ S 404)、ステップ S 402 に進む。変数 j がセグメント数以下の間は、 $S 402 \rightarrow S 403 \rightarrow S 404$ を繰り返し、全ての検査セグメントに対して受信波形を読み出す。変数 j がセグメント数を越えた場合、読み出した受信波形に対して、検査セグメントの位置に相当する時間ゲートを設け、各ゲート内の信号を抜き出して、時間軸上で連結する (ステップ S 405)。

【0048】

次に、波形作成・解析手段 5 は、時間もしくは距離を横軸とした波形を映像信号として表示手段 7 に出力し、表示手段 7 は映像信号を受信して波形を表示する (ステップ S 406)。表示の一例を図 13 に示す。同図において、(a) は第 2 の検査セグメント R 2 に対して高感度になる送信波形をガイド波送受信素子 1 に印加したときの受信波形であり、21 は送信波形、22 は R 2 にある欠陥から

の反射波形、23はR3にある欠陥からの反射波形、G2はR2に相当するゲートである。

【0049】

また、図13(b)は第3の検査セグメントR3に対して高感度になる送信波形をガイド波送受信素子1に印加したときの受信波形であり、24は送信波形、25はR2にある欠陥からの反射波形、26はR3にある欠陥からの反射波形、G3はR3に相当するゲートである。各ゲート内の波形を連結したのが、図13(c)で示した連結波形である。感度が良いゲート内の波形を連結することで、すべての検査セグメントに対して、高感度な波形を得ることができる。

【0050】

図14は、本発明の第2の実施形態により作成した送信波形の例である。このときの基準波形は、式(5)で与えるトーンバースト波(周波数500kHz)である(形状は図26と同じ)。

【0051】

【数3】

$$u(t) = \begin{cases} \sin(\omega t) & 0 \leq t \leq 8(\mu s) \\ 0 & t < 0, t > 8(\mu s) \end{cases} \quad \dots \text{式 (5)}$$

【0052】

図14(a)の送信波形W20は、 $d = 500\text{mm}$ として式(4)に基づき計算した送信波形である。すなわちガイド波送受信素子1から送信されたガイド波が、500mm離れた位置にある欠陥から反射して、再びガイド波送受信素子1で受信される際に、ガイド波の持続時間が短時間となるように、位相速度のデータ(図27(a)の52a)を参照して計算した波形である。 $d = 1000\text{mm}$ 、 $d = 2000\text{mm}$ で計算した送信波形は、各々図14(b)のW21、図14(c)のW22のようになる。

【0053】

次に、本発明の第2の実施形態により作成した送信波形により、ガイド波を励

起した場合の効果を図15を用いて説明する。ガイド波送受信素子1と欠陥の距離 d を変えて反射波を収録した。図15はその結果で、図15(a)は、基準波形を500kHzのトーンバースト4サイクルとして $d=500\text{mm}$ として計算した送信波形 $u'(t)$ を用いて500mm先にある欠陥からの反射波形を収録した結果である。

【0054】

図15(b)は、 $d=1000\text{mm}$ として計算した送信波形 $u'(t)$ を用いて1000mm先にある欠陥からの反射波形を収録した結果、図15(c)は、 $d=2000\text{mm}$ として計算した送信波形 $u'(t)$ を用いて2000mm先にある欠陥からの反射波形を収録した結果である。W23, W24, W25は欠陥からの反射波形であるが、いずれの信号も図29の反射波形61や63と比べると、持続時間が短くなっている。なお、W26, W27, W28は送信波形である。

【0055】

図16は、ガイド波送受信素子1から欠陥までの距離と受信波形の振幅の関係を測定した試験結果を示している。同図において、31は $d=0\text{mm}$ として計算した送信波形（基準波形と同じ）を用いた場合、32は $d=250\text{mm}$ として計算した送信波形を用いた場合、33は $d=500\text{mm}$ として計算した送信波形を用いた場合、34は $d=1500\text{mm}$ として計算した送信波形を用いた場合である。いずれの結果も、ガイド波の持続時間が短時間となる距離において、相対振幅が極大値を示しており、結果に対する感度が高くなっていることがわかる。測定結果31との差が、本実施形態に基づく送信方法を採用したことによる改善分である。

【0056】

前述した本発明の第2の実施形態によれば、本発明の第2の実施形態で説明した配管の軸方向を複数の検査セグメントに分割して、各検査セグメント毎に異なる送信信号で送受信した受信信号を連結するので、配管のすべての位置を高い感度で検査することが可能になる。

【0057】

次に、本発明の第3の実施形態を図17を用いて説明する。第3の実施形態に

おける装置構成は、第1及び第2の実施形態と同じであるので、説明は省略する。本実施形態における配管検査装置の動作は、本発明の第2の実施形態に準じるが、検査結果の解析・表示処理（図12）において、ステップS405の後に、次の機能が追加される。すなわち、波形作成・解析手段5は、受信波形を図17（a）に示す分散振幅補正曲線41が、その包絡線42に対して低下する分を補正し、補正した波形を、新たに受信波形とする。

【0058】

例えば、図17（b）が受信波形の連結波形であるとする、波形22に対しては振幅差43を補正する。補正したことによって、分散振幅補正後の連結波形は、図17（c）のようになり、波形22は波形22aのように振幅が補正して示される。なお、この分散振幅補正曲線41は、図16の試験に基づくデータから作成される。

【0059】

前述した本発明の第3の実施形態によれば、検査セグメントの中心から外れた位置において、信号レベルが低下するのを補正することで、特定の位置で検出性能が悪化するのを抑える効果がある。

【0060】

次に、本発明の第4の実施形態を図18から図24を用いて説明する。

【0061】

図18は、本実施形態に係わる配管検査装置のブロック図であり、同図において、1はガイド波送受信素子、2は送受信素子リング、3はガイド波送受信手段、4はA/D変換器、5は波形作成・解析手段、6は入力手段、7は表示手段、10は素子切替手段である。

【0062】

素子切替手段10は、波形作成・解析手段5からの制御信号によって制御され、ガイド波送受信手段3と接続するガイド波送受信素子1を選択する手段で、例えば、市販のマルチプレクサで構成される。その他の構成は、本発明の第1の実施形態と同様であるので、説明は省略する。

【0063】

図 1 9 は、素子切替手段 1 0 とガイド波送受信素子との接続図である。同図において、1 a, 1 b, 1 c はガイド波送受信素子であり、各々素子切替手段 1 0 のチャンネル 1, チャンネル 2, チャンネル 3 と接続されている。チャンネル 4 以降は、図中に接続線を省略しているが、同様に他のガイド波送受信素子と一対一に接続されている。

【 0 0 6 4 】

次に、本発明の第 4 の実施形態における配管検査装置の動作を、図 6, 図 2 0 と図 2 1 のフローチャート、及び図 2 2 を用いて説明する。初めに、波形作成・解析手段 5 は、検査条件の入力を求める（ステップ S 1）。ここでの動作は、本発明の第 2 の実施形態と同じであるので、説明は省略する。次に、送信波形を自動作成する（ステップ S 2）。ここでの動作も、本発明の第 2 の実施形態と同じであるので、説明は省略する。

【 0 0 6 5 】

次に、ガイド波を送受信する（ステップ 3）。この内容を図 2 0 を参照して説明する。はじめに、メモリ中に格納されたチャンネルを示す変数 i に 1 を代入する（ステップ S 3 0 1）。次に、変数 i がチャンネル数以下かどうか判定を行う（ステップ S 3 0 2）。i = 1 のときは Y e s の判定となるので、ステップ S 3 0 3 に進むが、このとき N o の判定であれば動作を終了する。ステップ S 3 0 3 では、波形作成・解析手段 5 は、素子切替手段 1 0 に素子選択信号を送出する（ステップ S 3 0 3）。

【 0 0 6 6 】

素子選択信号を受けた素子切替手段 1 0 は、スイッチ 1 0 a を切り替えて、ガイド波送受信手段 3 とチャンネル 1 を電氣的に接続する。これによって、ガイド波送受信手段 3 とガイド波送受信素子 1 a が接続される。次に、メモリ中に格納された検査セグメントを示す変数 j に 1 を代入する（ステップ S 3 0 4）。次に、変数 j が検査セグメント数以下かどうか判定を行う。j = 1 のときは Y e s の判定であるので、ステップ S 3 0 6 に進むが、N o の判定であればステップ S 3 1 0 に進む（ステップ S 3 0 5）。

【 0 0 6 7 】

次に、波形作成・解析手段 5 は、ガイド波送受信手段 3 が第 1 の検査セグメント R 1 に対して作成した送信波形を準備するように、ガイド波送受信手段 3 に送信波形選択信号を送る（ステップ S 3 0 6）。次に、波形作成・解析手段 5 は、ガイド波送受信手段 3 に対して、送信のトリガ信号を送る（ステップ S 3 0 7）。トリガ信号を検出したガイド波送受信手段 3 は、素子切替手段 1 0 を介してガイド波送受信素子 1 a に送信波形を印加すると同時に、A/D 変換器 4 に対してトリガ信号を送信する。送信波形を印加されたガイド波送受信素子 1 a は、機械的に振動することによって、配管 9 に対してガイド波 8 a を励起する。

【0068】

ガイド波 8 a は、配管 9 を軸方向に伝播するが、このうち、割れや減肉などの不連続な点で反射したガイド波は、ガイド波送受信素子 1 a で受信され、受信波形としてガイド波送受信手段 3 に入力される。ガイド波送受信手段 3 は、受信波形を増幅して、増幅した受信波形を A/D 変換器 4 に送る。A/D 変換器 4 は、ガイド波送受信手段 3 がガイド波送受信素子 1 a に送信波形を印加すると同時に発生させたトリガ信号に同期して、信号のデジタル化を開始しており、増幅した受信波形は、A/D 変換器 4 でデジタル信号に変換され、波形作成・解析手段 5 に転送される。

【0069】

次に、波形作成・解析手段 5 は、デジタル信号をメモリに格納する（ステップ S 3 0 8）。次に、検査セグメントを示す変数 j に 1 を加算してメモリに格納し（ステップ S 3 0 9）、ステップ S 3 0 5 に進む。変数 j が検査セグメント数以下の間は、S 3 0 5→S 3 0 6→S 3 0 7→S 3 0 8→S 3 0 9 が繰り返し実行され、配管 9 の軸方向の複数の検査セグメントに対して、各検査セグメント毎に作成した送信波形によるガイド波を送信して、全ての受信波形をデジタル信号としてメモリに格納していく。変数 j が検査セグメント数を越えたときに、変数 i に 1 を加算する（ステップ S 3 1 0）。

【0070】

次に、変数 i がチャンネル数以下かどうか判定を行うが、変数 i がチャンネル数以下の間は、S 3 0 2→S 3 0 3→S 3 0 4→（S 3 0 5～S 3 0 9 の繰り返し）

しループ) → S 3 1 0 が繰り返し実行され、配管 9 の周方向に配列されたすべてのガイド波送受信素子に対して、S 3 0 5 ~ S 3 0 9 の繰り返しループを実行する。変数 i が検査セグメント数を超えた場合、動作を終了する。

【0071】

次に、検査情報である検査結果を解析・表示する(ステップ S 4)。この内容を図 2 1 を用いて説明する。初めに、波形作成・解析手段 5 は、メモリ中に格納されたチャンネルを示す変数 i に 1 を代入する(ステップ S 4 1 1)。次に、変数 i がチャンネル数以下かどうか判定を行う(ステップ S 4 1 2)。 $i = 1$ のときは Y e s の判定となるので、ステップ S 4 1 3 に進むが、このとき N o の判定であればステップ S 4 1 5 に進む。

【0072】

次に、波形作成・解析手段 5 は、チャンネル i で収録した全検査セグメントの受信波形を読み出して連結する(ステップ S 4 1 3)。この処理の内容は、本発明の第 2 の実施における検査情報である検査結果の解析・表示処理(図 1 2)からステップ S 4 0 6 を除いた処理に等しいので、説明は省略する。

【0073】

次に、検査セグメントを示す変数 j に 1 を加算してメモリに格納し、ステップ S 4 1 2 に進む(ステップ S 4 1 4)。変数 j が検査セグメント数以下の間は、S 4 1 2 → S 4 1 3 → S 4 1 4 が繰り返し実行されることで、すべてのチャンネルの全セグメントの受信波形を読み出して連結する。ステップ S 4 1 2 で、変数 i がチャンネル数を超えた場合、波形作成・解析手段 5 は、全てのチャンネルの連結波形を用いて、配管の周方向を平面に展開した検査画像の情報を作成する(ステップ S 4 1 5)。この検査画像の情報の作成過程は、通常の超音波探傷における B スコープの映像化処理と同じであるので詳細は省略する。

【0074】

次に、波形作成・解析手段 5 は、検査画像の情報の映像信号を表示手段 7 に出力し、表示手段 7 は、映像信号を受信し、図 2 2 (d) に示すような検査画像を表示する(ステップ S 4 1 6)。

【0075】

次に、本発明の第4の実施形態により、欠陥のある配管を検査した結果の例を、図23と図24を用いて説明する。図23(a)は、検査体系を模式的に示したもので、外径114mm、厚さ6mm、長さ5500mmの配管9に、ガイド波送受信素子1が端部から100mmの位置に円周方向に32個配置され、送受信素子リング2によって把持されている。

【0076】

D1、D2、D4、D5はすり鉢状の減肉欠陥であり、D1は最大で80% (4.8mm) が減肉した欠陥、D2は最大で50% (3.0mm) が減肉した欠陥、D4は最大で40% (2.4mm) が減肉した欠陥、D5は最大で20% (1.2mm) が減肉した欠陥である。D3は直径4mmの貫通ドリルホールである。

【0077】

各欠陥の周方向位置は、D1が0°、D2が180°、D3が0°、D4が90°、D5が-90°である。R1、R2、R3、R4、R5、R6は、いずれも検査セグメントで、R1が0から250mm、R2が250mmから750mm、R3が750mmから1250mm、R4が1250mmから1750mm、R5が1750mmから2250mm、R6が2250mmから5500mmである。送信波形を生成するための基準波形は、500kHzのトーンバースト波4サイクルである。図23(b)は、検査結果(全チャンネルの合成映像)である。信号W1、W2、W3、W4、W5が示すように、すべての模擬欠陥を検出できている。

【0078】

図24は、比較のために測定した従来の送信方法を用いた試験結果であり、送信波形を500kHzのトーンバースト4サイクルとした場合である。信号W6、W7、W8、W9は、各々欠陥D1、D2、D3、D4からの反射波形であり、比較的大きな欠陥は検出できているが、最も小さい欠陥D5を検出するまでには至っていない。

【0079】

前述した本発明の第4の実施形態によれば、本発明の第2の実施形態で説明した配管の軸方向を複数の検査セグメントに分割して、各検査セグメント毎に異なる送信信号で送受信した受信信号を連結する機能に加え、さらに周方向に複数の

ガイド波送受信素子を配置して、切り替えて送受信して、各信号を合成して検査画像とするので、欠陥の周方向の位置が測定できるとともに、視覚的に容易に認識しやすい検査結果を得ることができる。

【0080】

次に、本発明の第5の実施形態を図25を用いて説明する。図25は、本発明の第5の実施形態による配管検査装置のブロック図であり、同図において、11は走査機構、12はスキャナ制御手段であり、その他の構成は本発明の第1の実施形態と同じである。本実施形態により、配管に発生した減肉を検出する手順は、本発明の第3の実施形態に準じるので説明は省略する。第3の実施形態との違いは、ガイド波送受信素子1が単一である代わりに、ガイド波送受信素子1を把持した走査機構11を有することで、走査機構が配管の周方向に走査することで、円周方向の複数セグメントを測定できる点にある。

【0081】

前述した本発明の第5の実施形態によれば、複数の円周セグメントで同じガイド波送受信素子1を利用するので、検査結果のばらつきを抑えることが可能で、さらに、ガイド波送受信素子のコストを抑える効果がある。特に、円周セグメントの数を多くしたいときに有用である。

【0082】

【発明の効果】

以上のように、本発明の非破壊検査装置及び非破壊検査方法によれば、ガイド波の群速度が一定にならない高い周波数域を利用する場合においても、長距離区間を一括して感度良く検査することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1の実施形態による配管検査装置のブロック図である。

【図2】

ガイド波送受信素子の構造の例を説明する図である。

【図3】

本発明の第1の実施形態におけるガイド波送受信手段とガイド波送受信素子の

接続図である。

【図 4】

本発明の第 1 の実施形態における検査条件設定ウィンドウと基準波形選択／表示ウィンドウの表示例である。

【図 5】

本発明の第 1 の実施形態における送信波形表示ウィンドウの表示例である。

【図 6】

本発明の第 1 の実施形態により、配管を検査するときの波形作成・解析手段の内部処理のフローチャートである。

【図 7】

送信波形を演算する過程を説明する図である。

【図 8】

特定の検査領域からの反射波形を受信する際に、信号の持続時間が短くなるようにガイド波を励起する場合の送信波形の例を示す図である。

【図 9】

特定の検査領域からの反射波形を受信する際に、信号の持続時間が短くなるようにガイド波を励起した場合に、特定の検査領域にある欠陥に対する感度が向上する試験結果を示す図である。

【図 1 0】

本発明の第 2 の実施形態における送信波形表示ウィンドウの表示例である。

【図 1 1】

本発明の第 2 の実施形態により、送信波形を自動作成するときの波形作成・解析手段の内部処理のフローチャートである。

【図 1 2】

本発明の第 2 の実施形態により、検査結果を解析・表示するときの波形作成・解析手段の内部処理のフローチャートである。

【図 1 3】

受信波形を連結して検査結果を得る過程を説明する図である。

【図 1 4】

特定の検査セグメントからの反射波形を受信する際に、信号の持続時間が短くなるようにガイド波を励起する場合の送信波形の例を示す図である。

【図 15】

特定の検査セグメントからの反射波形を受信する際に、信号の持続時間が短くなるようにガイド波を励起した場合に、特定の検査セグメントにある欠陥に対する感度が向上する試験結果を示す図である。

【図 16】

特定の距離で分散による振幅低下を補償するようにガイド波を励起した場合に、特定の距離にある反射源で反射したガイド波を受信した信号の例を示す図である。

【図 17】

本発明の第3の実施形態により、ガイド波送受信素子からの距離によって、受信波形の振幅を補正する方法を説明する図である。

【図 18】

本発明の第4の実施形態による配管検査装置のブロック図である。

【図 19】

本発明の第4の実施形態における素子切替手段とガイド波送受信素子の接続図である。

【図 20】

本発明の第4の実施形態により、ガイド波を送受信するときの波形作成・解析手段の内部処理のフローチャートである。

【図 21】

本発明の第4の実施形態により、検査結果を解析・表示するときの波形作成・解析手段の内部処理のフローチャートである。

【図 22】

本発明の第4の実施形態において、受信波形を合成して合成映像を得る過程を説明する図である。

【図 23】

本発明の第4の実施形態を用いて、中心周波数500kHzのL(0, 2)モ

ードのガイド波で、欠陥を付与した外径 114.3 mm、肉厚 6 mm の配管を検査したときの反射波形位置を、配管を展開した平面上に表示した結果を説明する図である。

【図 24】

従来の技術を用いて、中心周波数 500 kHz の L (0, 2) モードのガイド波で、欠陥を付与した外径 114.3 mm、肉厚 6 mm の配管を検査したときの反射波形の位置を、配管を展開した平面上に表示した結果を説明する図である。

【図 25】

本発明の第 5 の実施形態による配管検査装置のブロック図である。

【図 26】

ガイド波送受信素子に印加する波形の一例であるトーンバースト波を説明する図である。

【図 27】

ガイド波の複数の振動モードでのガイド波の速度（群速度）が周波数に依存して変化する分散特性を有し、かつ、各モードの群速度が肉厚と周波数との積によって一意に決まることを説明する図である。

【図 28】

ガイド波が伝播するときの弾性変形の様子を、振動モード毎に模式的に説明する図である。

【図 29】

欠陥を施した外径 114.3 mm、肉厚 6 mm の配管を、500 kHz のトーンバースト波 4 サイクルで駆動した L (0, 2) モードのガイド波で検査したときに、反射波形の振幅と持続時間が距離によって変化することを説明する図である。

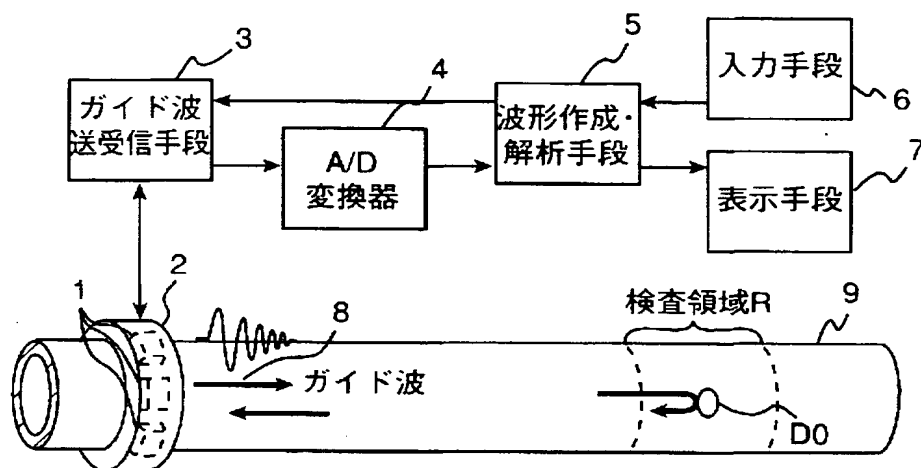
【符号の説明】

1…ガイド波送受信素子、2…送受信素子リング、3…ガイド波送受信手段、4…A/D 変換器、5…波形作成・解析手段、6…入力手段、7…表示手段、8…ガイド波、9…配管、10…素子切替手段。

【書類名】 図面

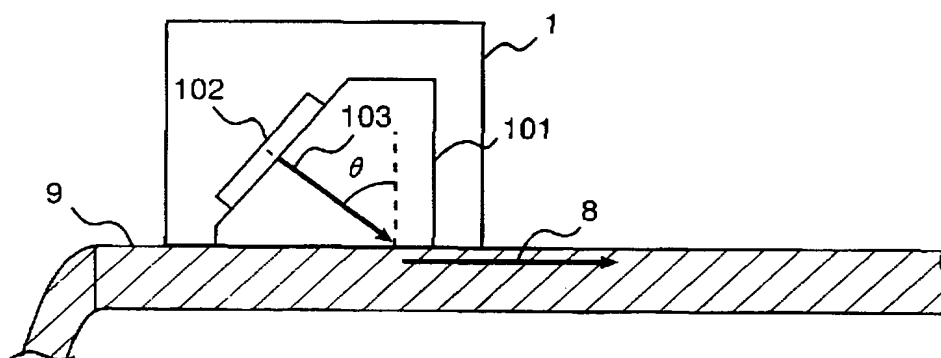
【図 1】

図 1



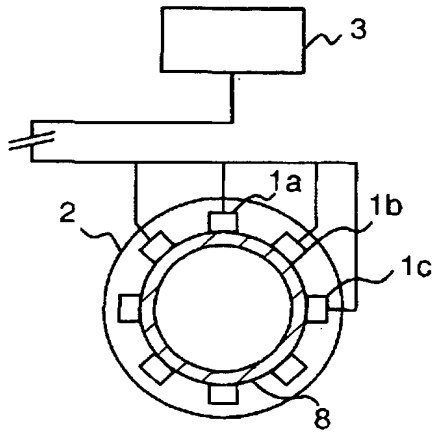
【図 2】

図 2



【図 3】

図 3



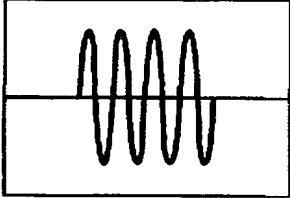
【図 4】

図 4

(a)

検査条件設定ウインドウ	
配管の肉厚	<input type="text" value="6 mm"/>
材質	<div><input checked="" type="checkbox"/> 炭素鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> アルミニウム</div>
縦波音速	<input type="text" value="5940 m/s"/>
横波音速	<input type="text" value="3260 m/s"/>
検査領域 (素子からの距離)	<input type="text" value="500 mm"/> ~ <input type="text" value="1500 mm"/>

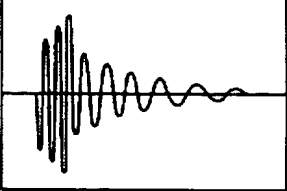
(b)

基準波形選択／表示ウインドウ	
基準波形	<div><input checked="" type="checkbox"/> トーンバースト波 <input type="checkbox"/> ガウス包絡線 <input type="checkbox"/> 矩形波</div>
サイクル数	<input type="text" value="4"/>
中心周波数	<input type="text" value="500 kHz"/>
基準波形プレビュー 	

【図 5】

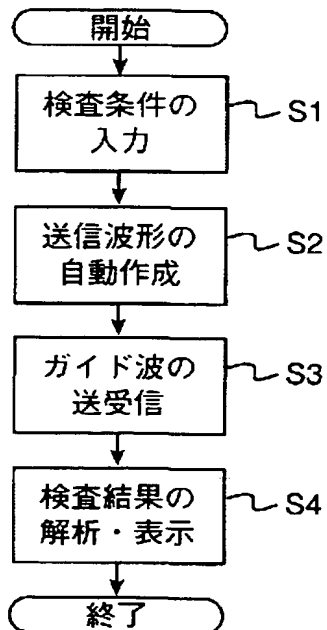
図 5

送信波形表示ウインドウ

検査領域	500 mm ~ 1500 mm	検査セグメントインジケータ	0 5000
セグメント分割	Yes ✓ No	セグメント中心	1000 mm
		送信波形プレビュー	

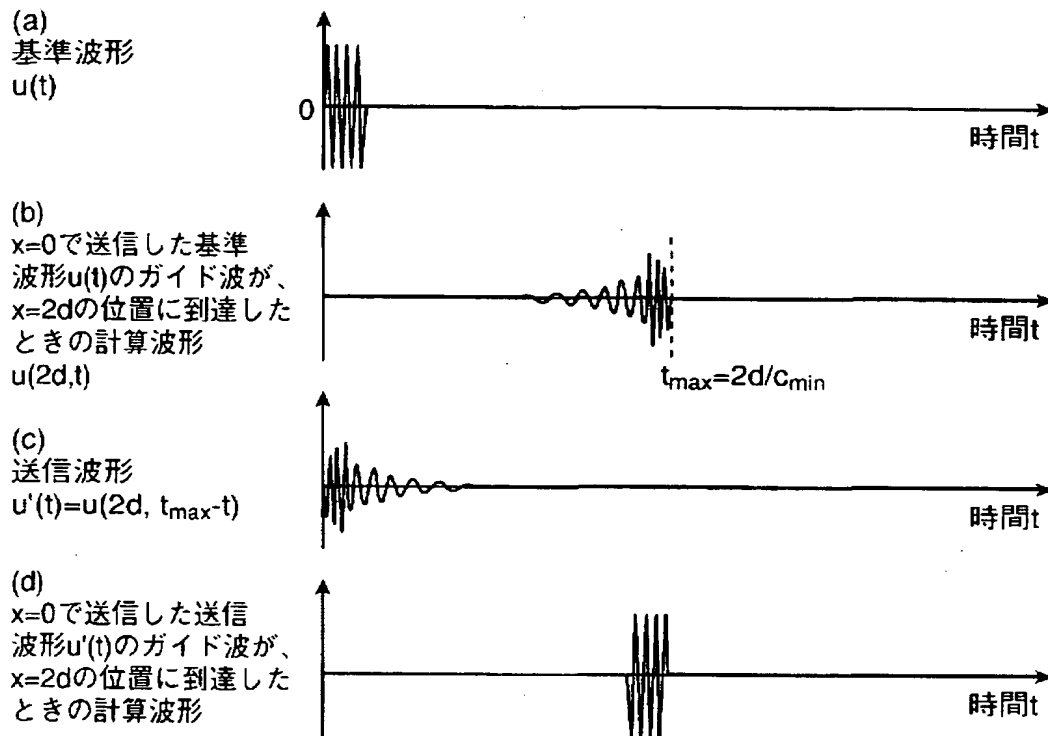
【図 6】

図 6



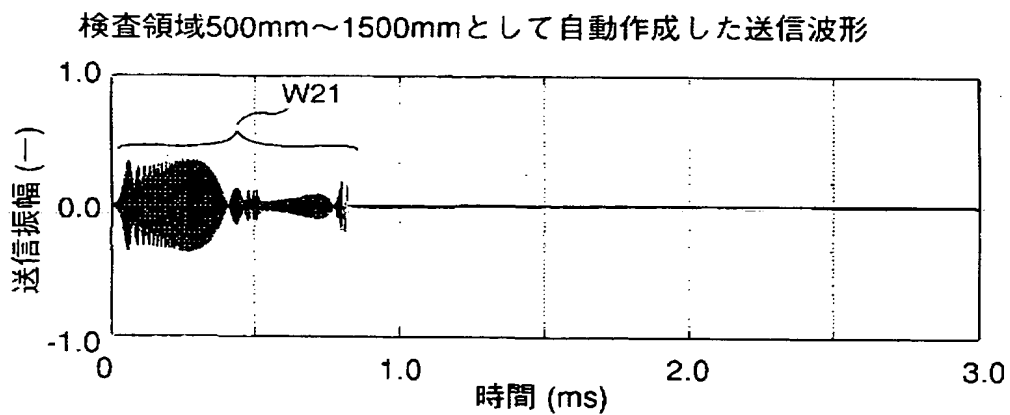
【図 7】

図 7



【図 8】

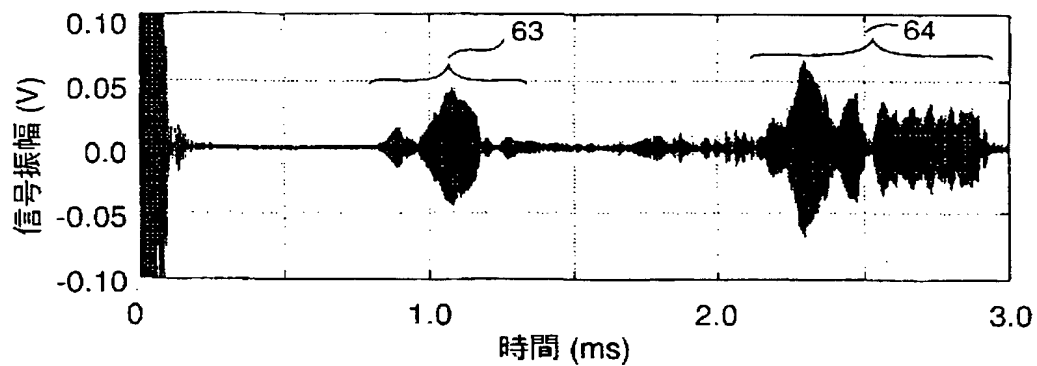
図 8



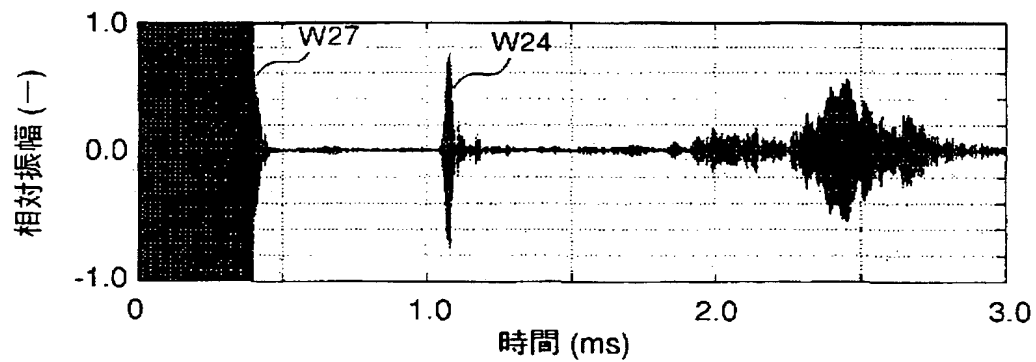
【図 9】

図 9

(a) 通常の送信波形を用いた検査結果



(b) 自動作成した送信波形を用いた検査結果

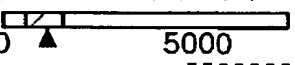
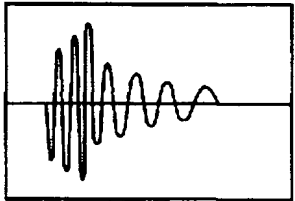


【図 10】

図 10

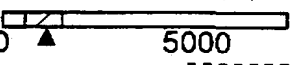
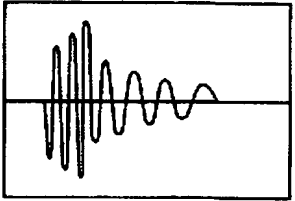
(a)

送信波形表示ウインドウ

検査領域	1000 mm ~ 5000 mm	検査セグメントインジケータ	
セグメント分割	<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	セグメント中心	1250 mm
セグメント数	8	送信波形プレビュー	
検査セグメント	1		
	1000 mm ~ 1500 mm		

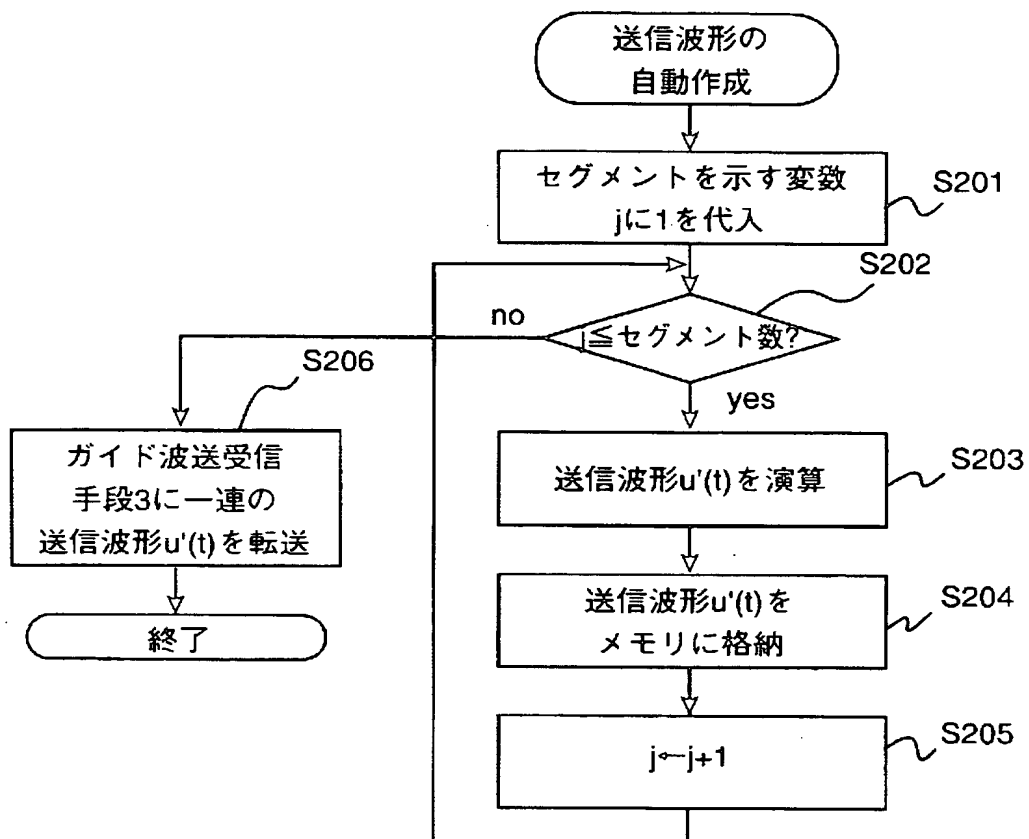
(b)

送信波形表示ウインドウ

検査領域	1000 mm ~ 5000 mm	検査セグメントインジケータ													
セグメント分割	<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	セグメント中心	1250 mm												
検査セグメント	<table border="1" data-bbox="430 1207 641 1354"><tr><td>1</td><td>1000</td><td>1500</td></tr><tr><td>2</td><td>1500</td><td>2000</td></tr><tr><td>3</td><td>2000</td><td>2500</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>	1	1000	1500	2	1500	2000	3	2000	2500				送信波形プレビュー	
1	1000	1500													
2	1500	2000													
3	2000	2500													
検査セグメント	1														

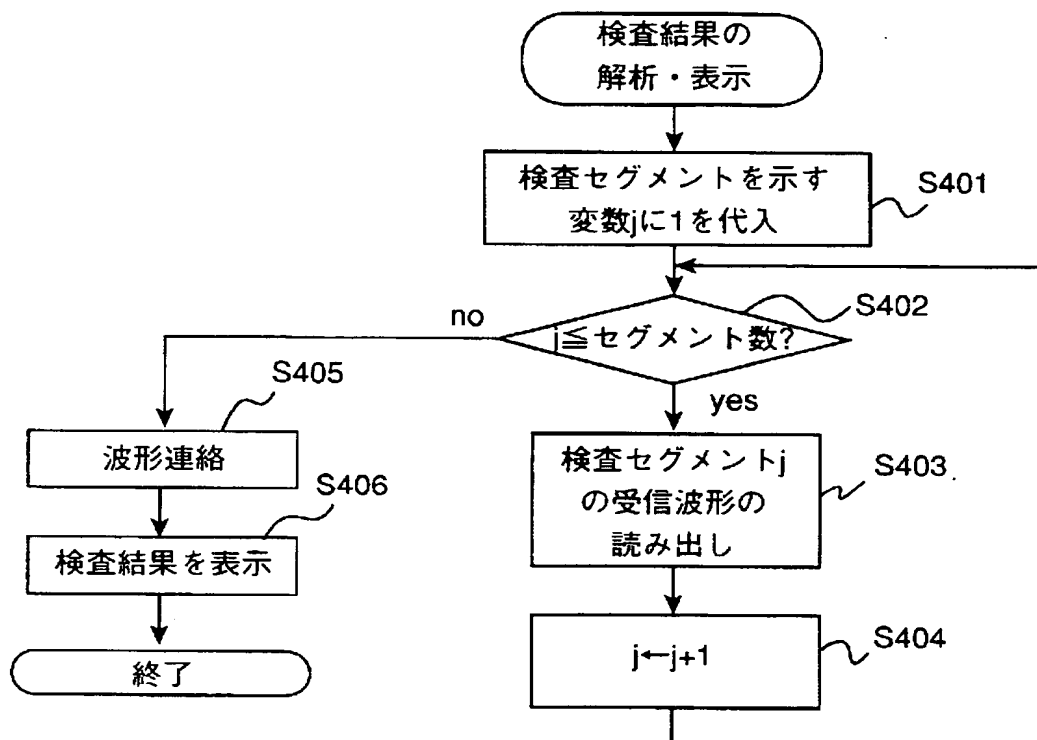
【図 11】

図 11



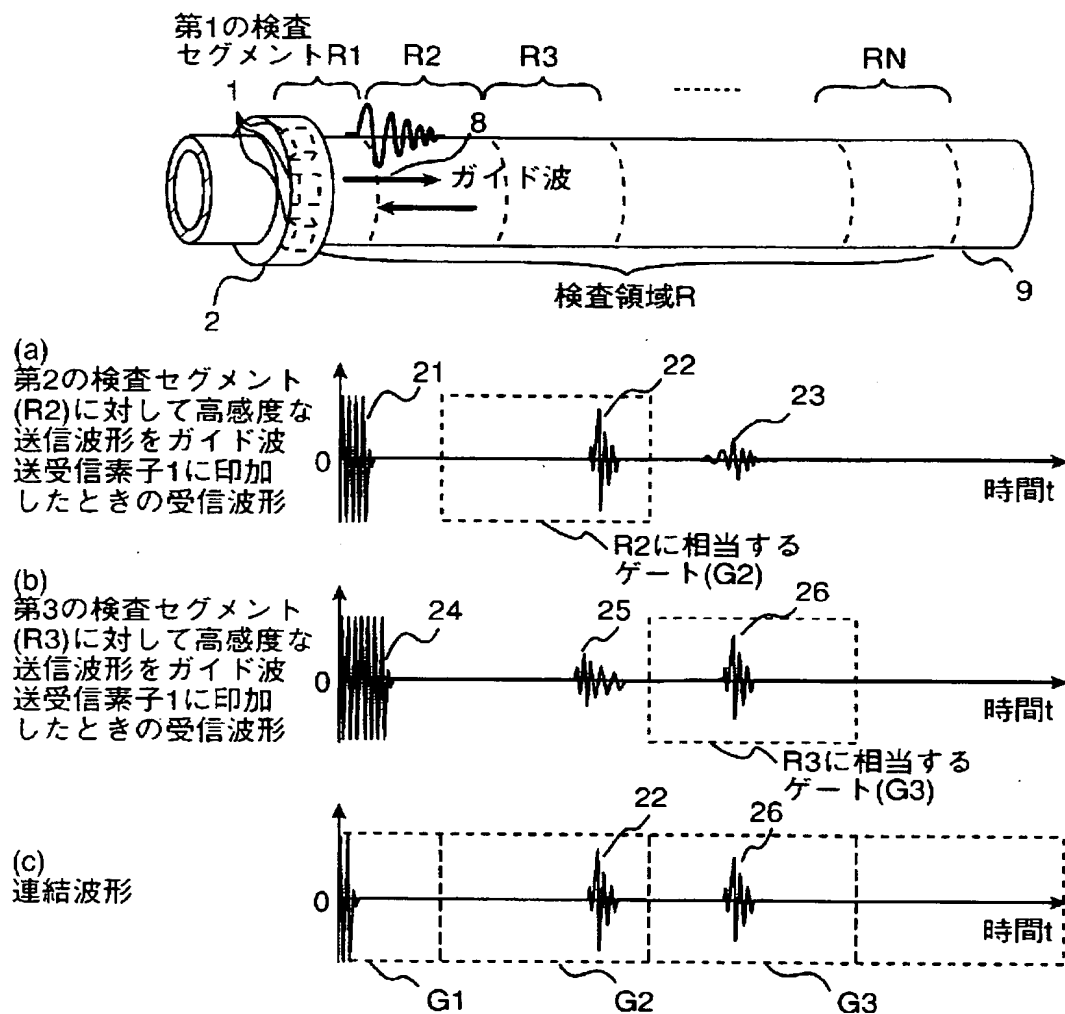
【図 12】

図 12



【図 13】

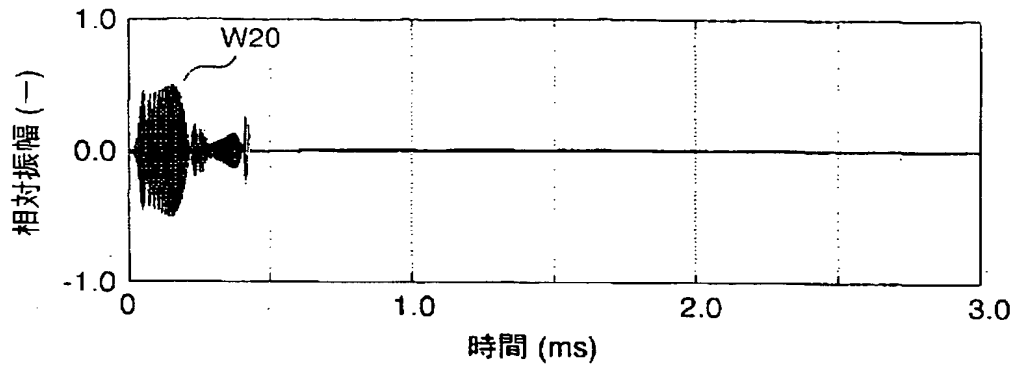
図 13



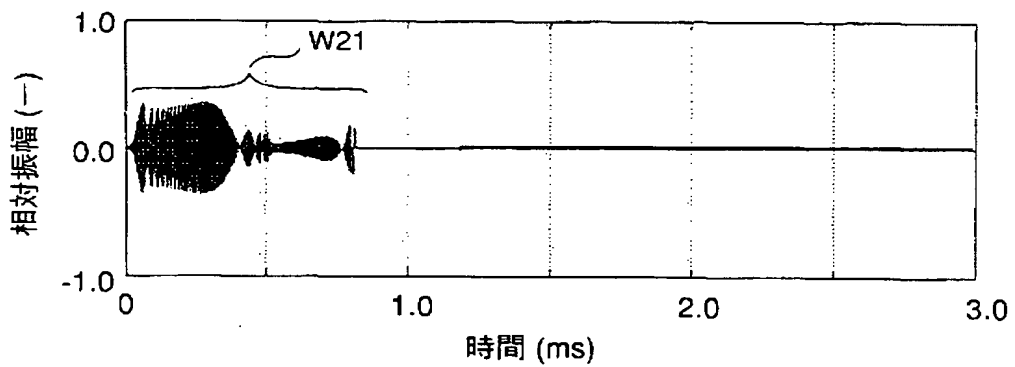
【図 14】

図 14

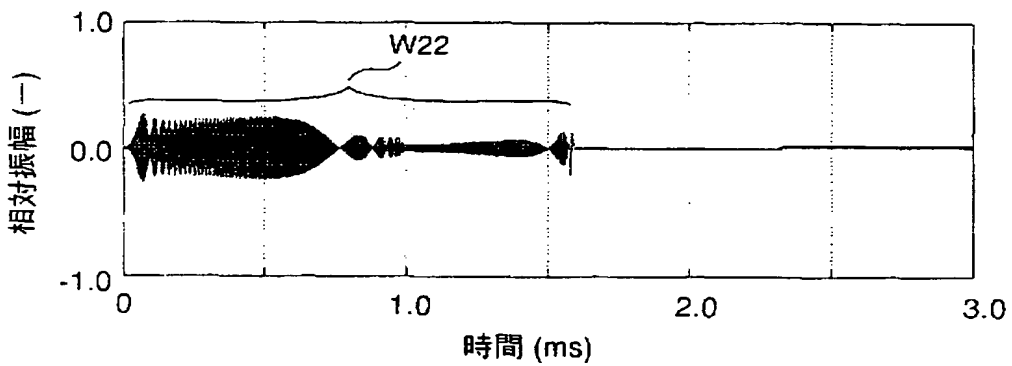
(a) 距離500mmの位置からの反射が高い振幅となる送信波形



(b) 距離1000mmの位置からの反射が高い振幅となる送信波形



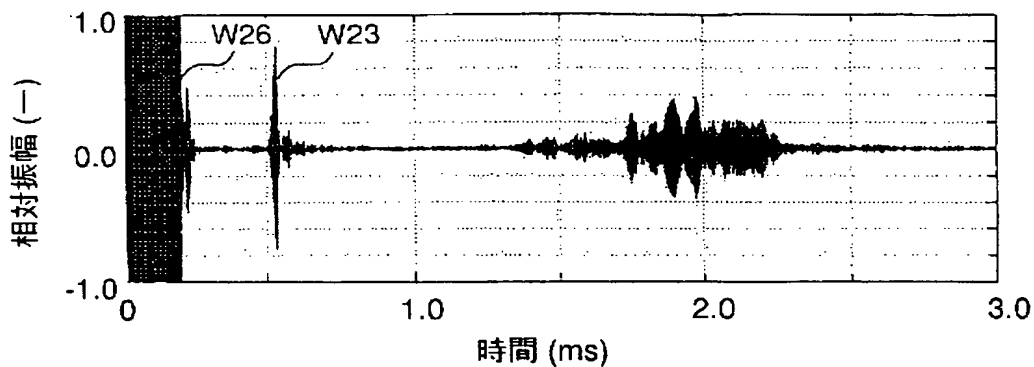
(c) 距離2000mmの位置からの反射が高い振幅となる送信波形



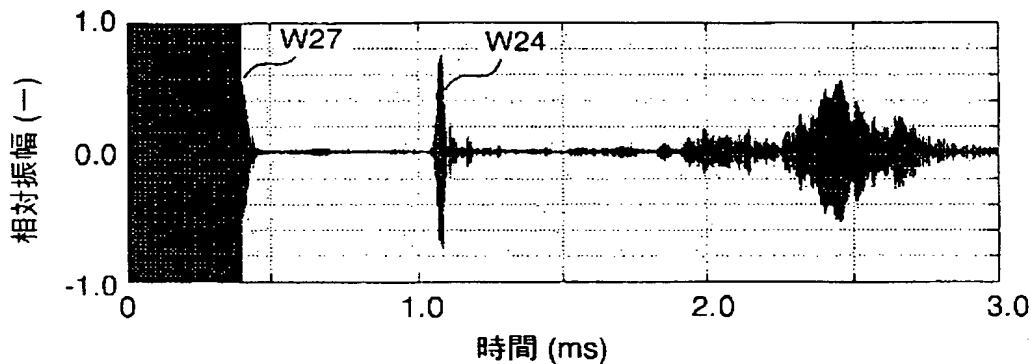
【図 15】

図 15

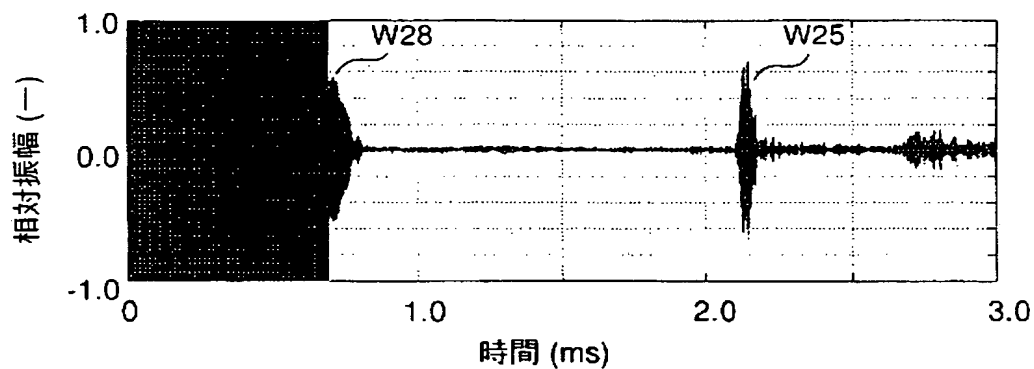
- (a) 距離500mmの位置からの反射が高い振幅となる送信波形を送信したときの、距離500mmの位置にある欠陥からの反射波形



- (b) 距離1000mmの位置からの反射が高い振幅となる送信波形を送信したときの、距離1000mmの位置にある欠陥からの反射波形

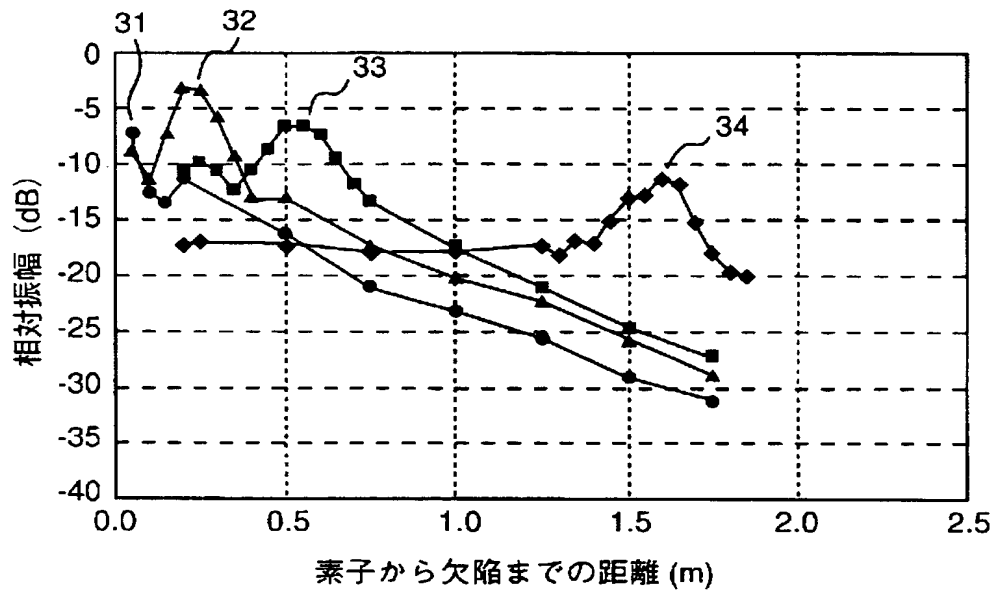


- (c) 距離2000mmの位置からの反射が高い振幅となる送信波形を送信したときの、距離2000mmの位置にある欠陥からの反射波形



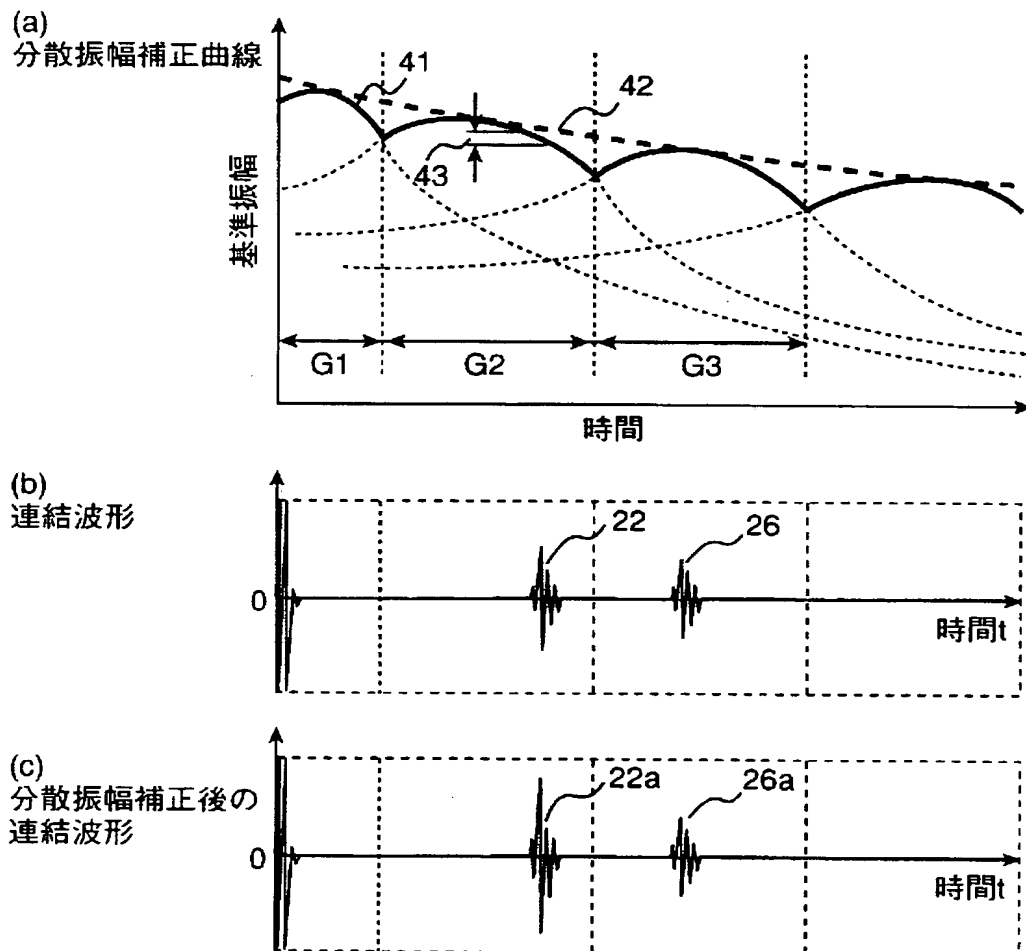
【図 16】

図 16



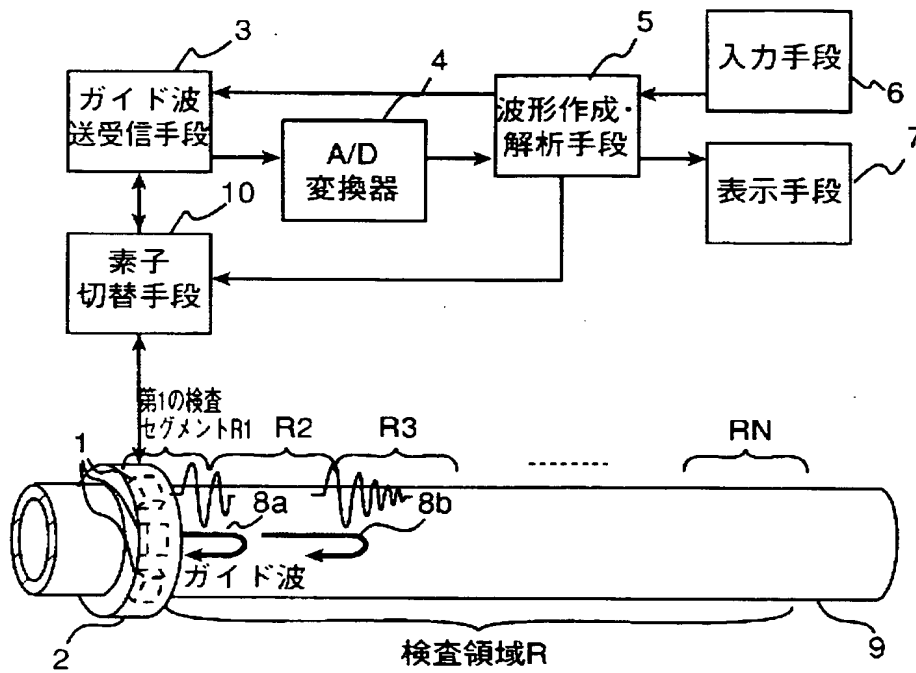
【図 17】

図 17



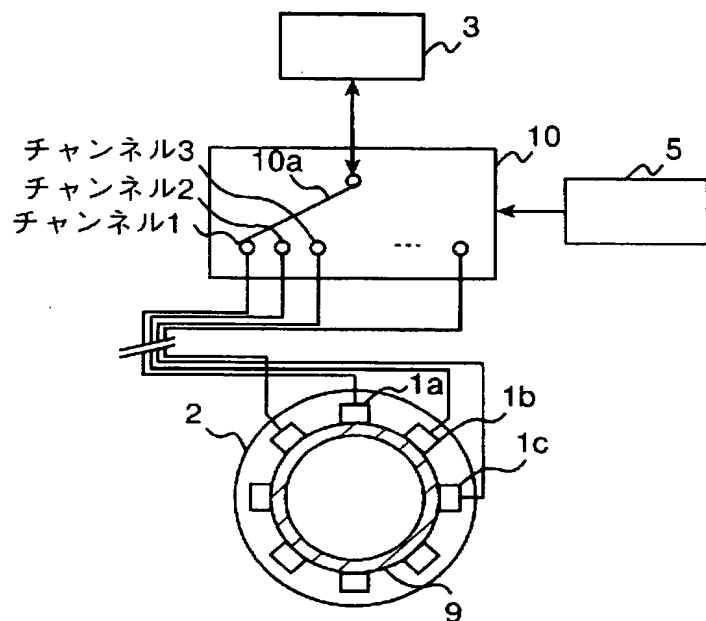
【図 18】

図 18



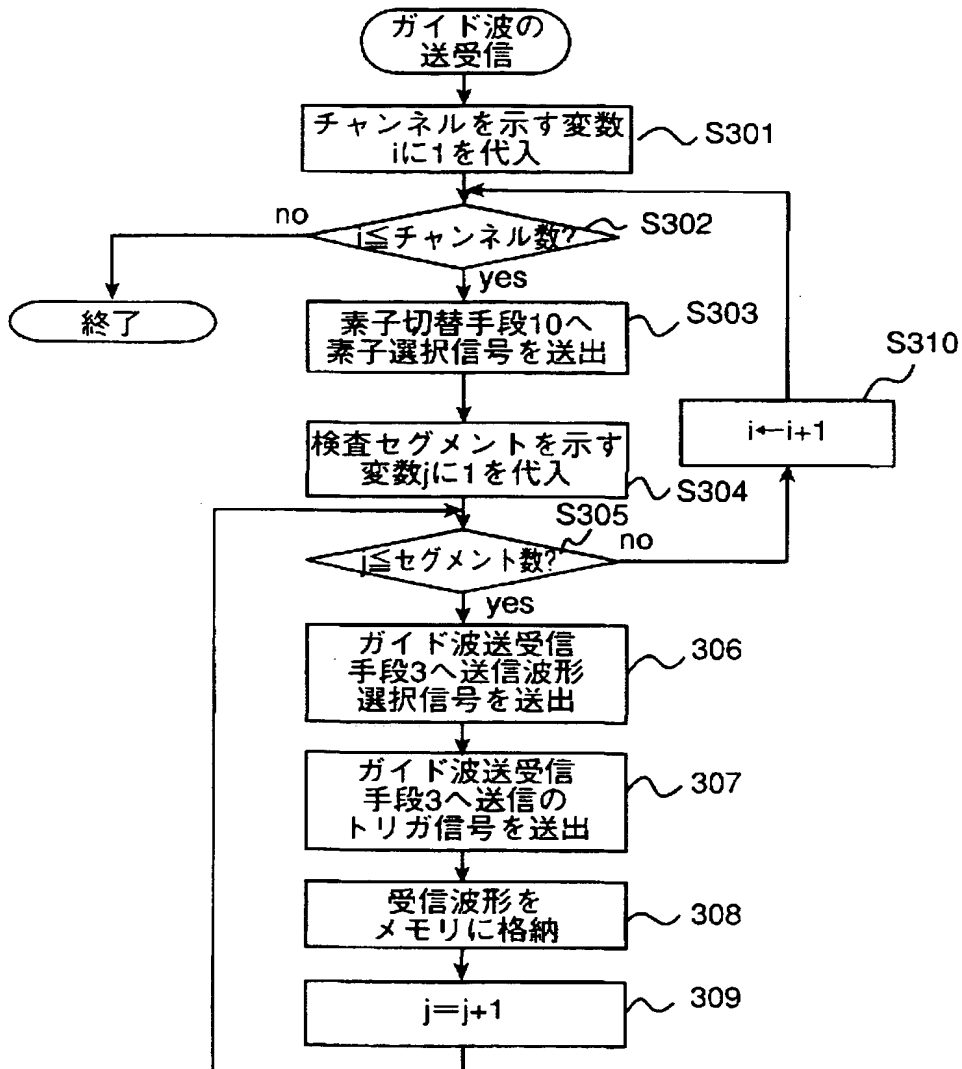
【図 19】

図 19



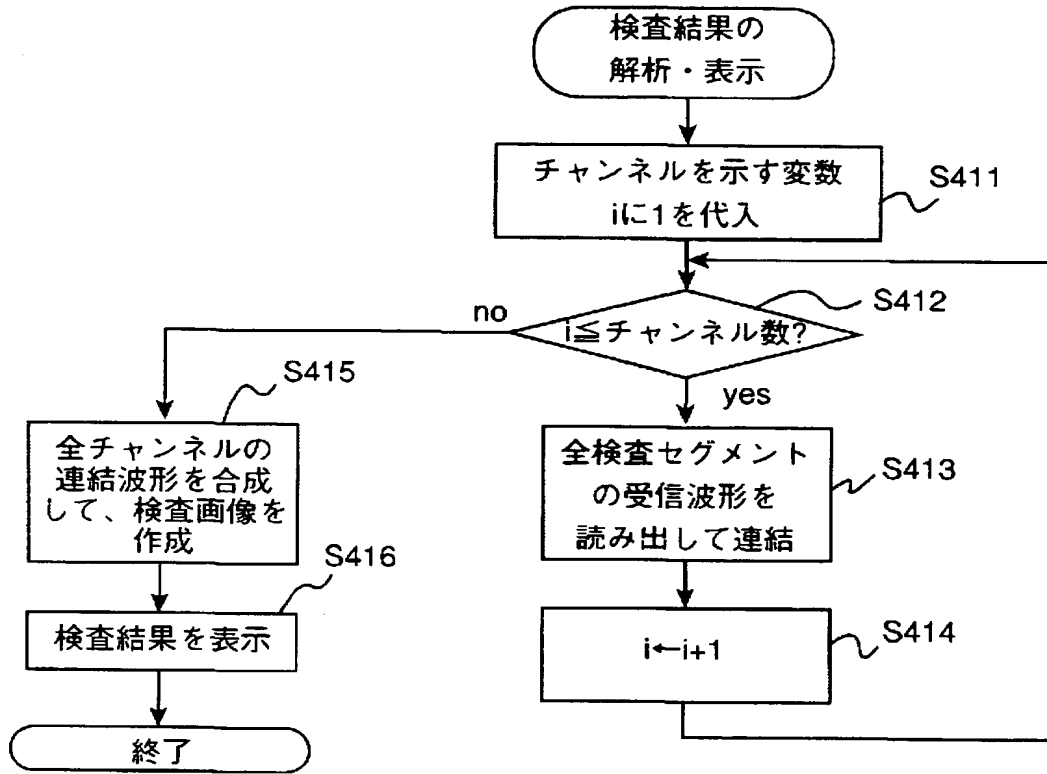
【図 20】

図 20



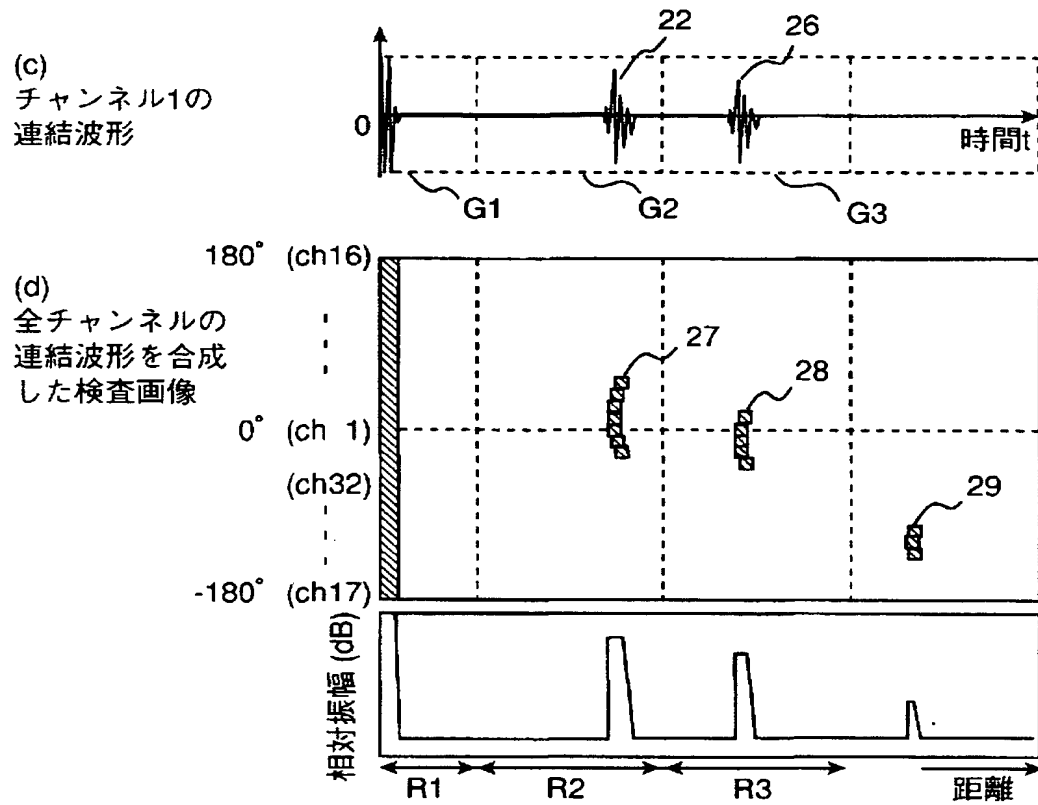
【図 21】

図 21



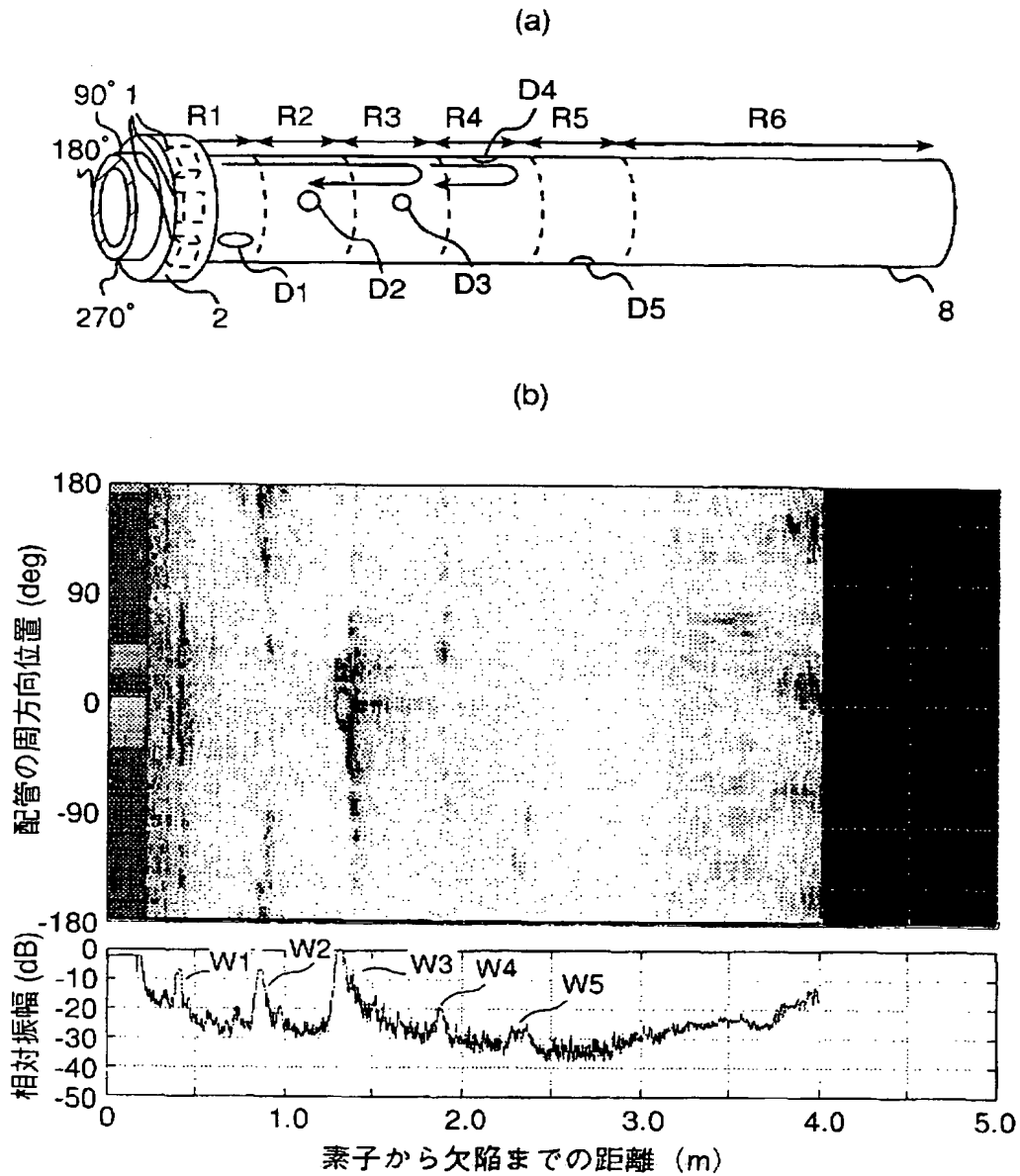
【図 22】

図 22



【図 23】

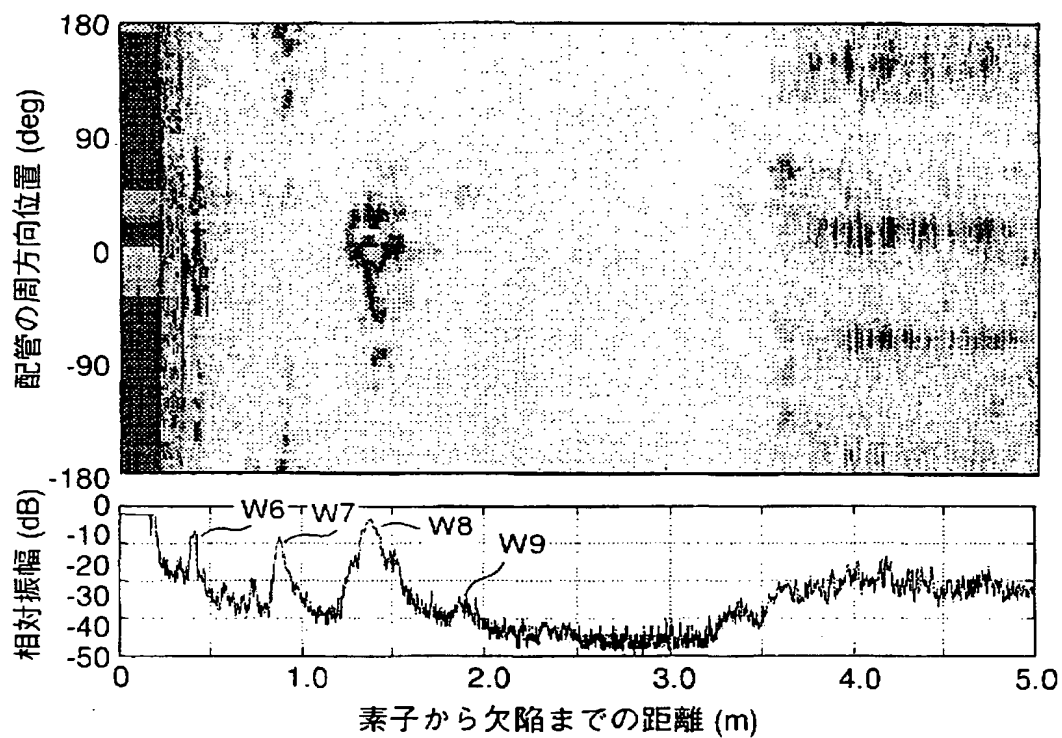
図 23



BEST AVAILABLE COPY

【図 24】

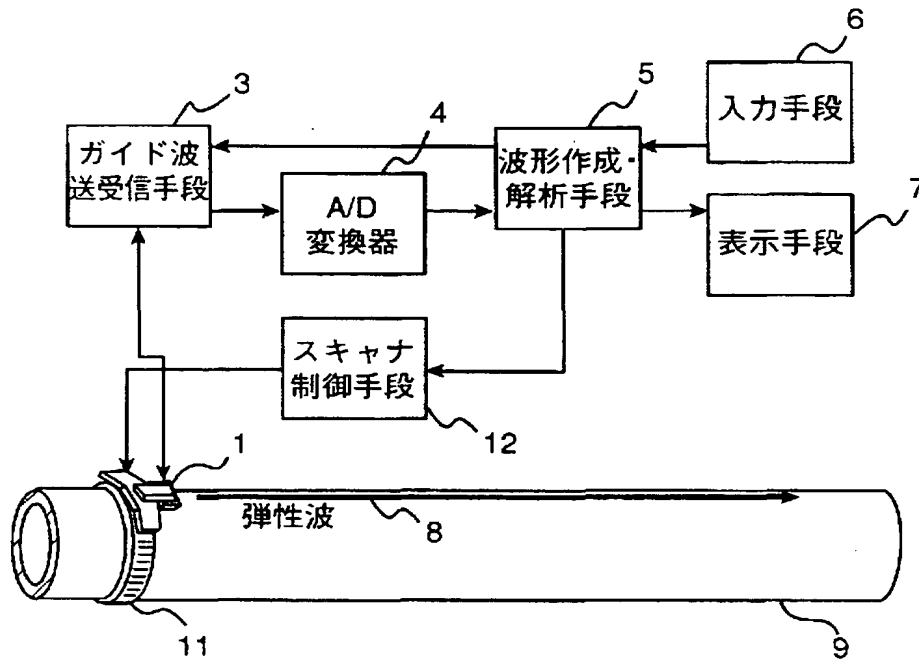
図 24



BEST AVAILABLE COPY

【図 25】

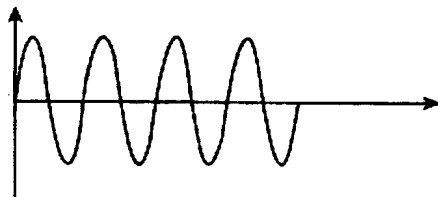
図 25



【図 26】

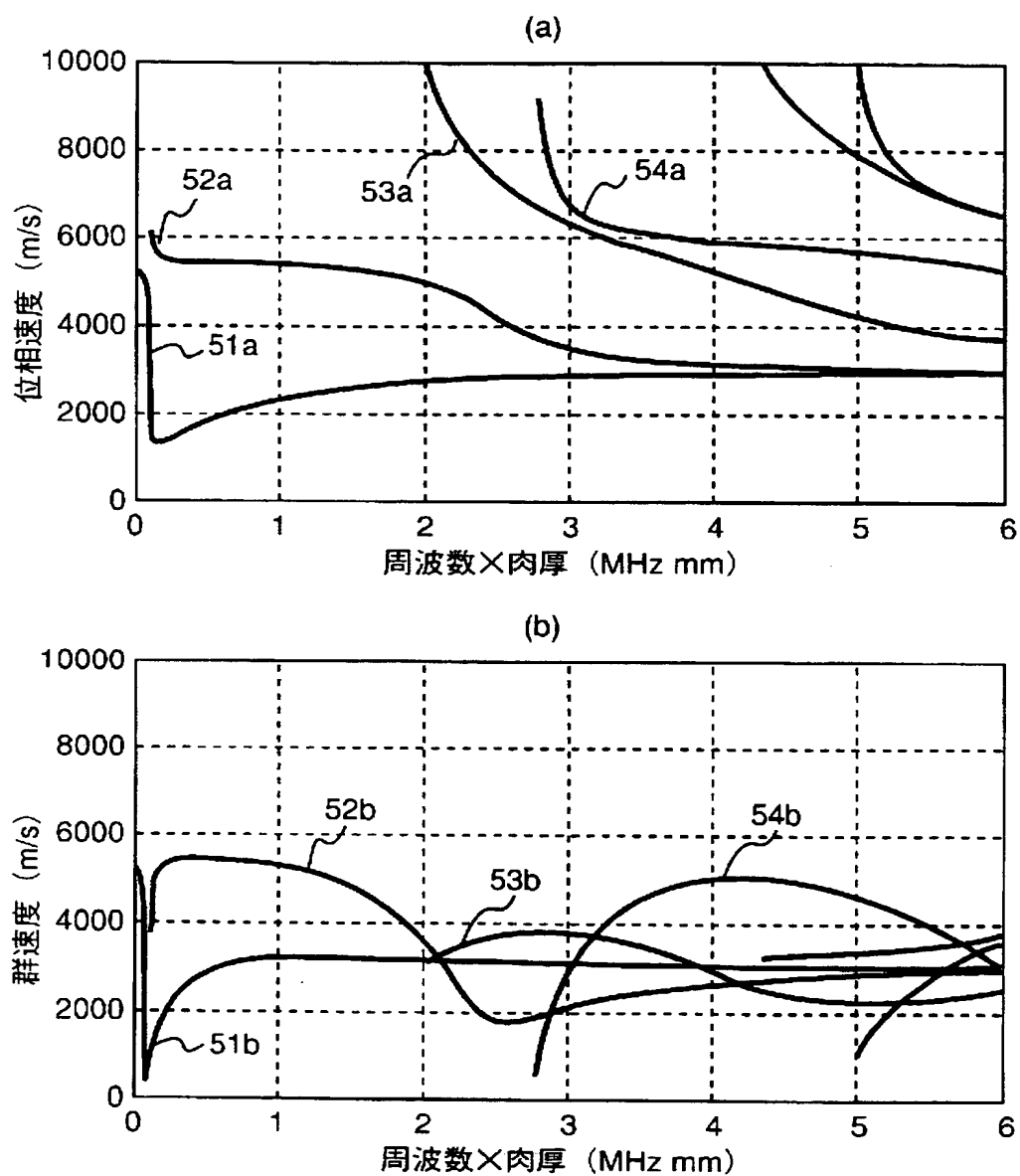
図 26

トーンバースト波 (4サイクルの例)



【図 27】

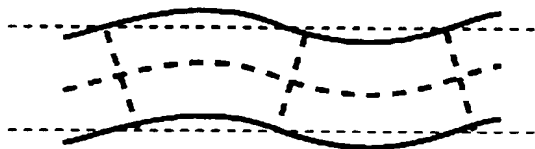
図 27



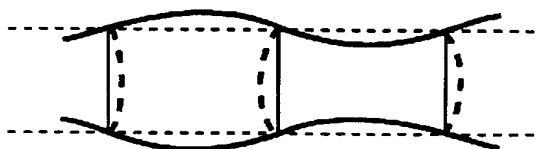
【図 28】

図 28

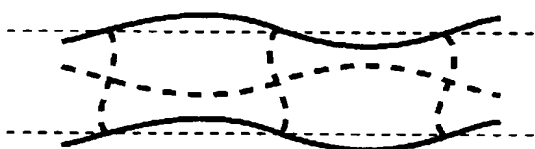
L(0,1)モード



L(0,2)モード

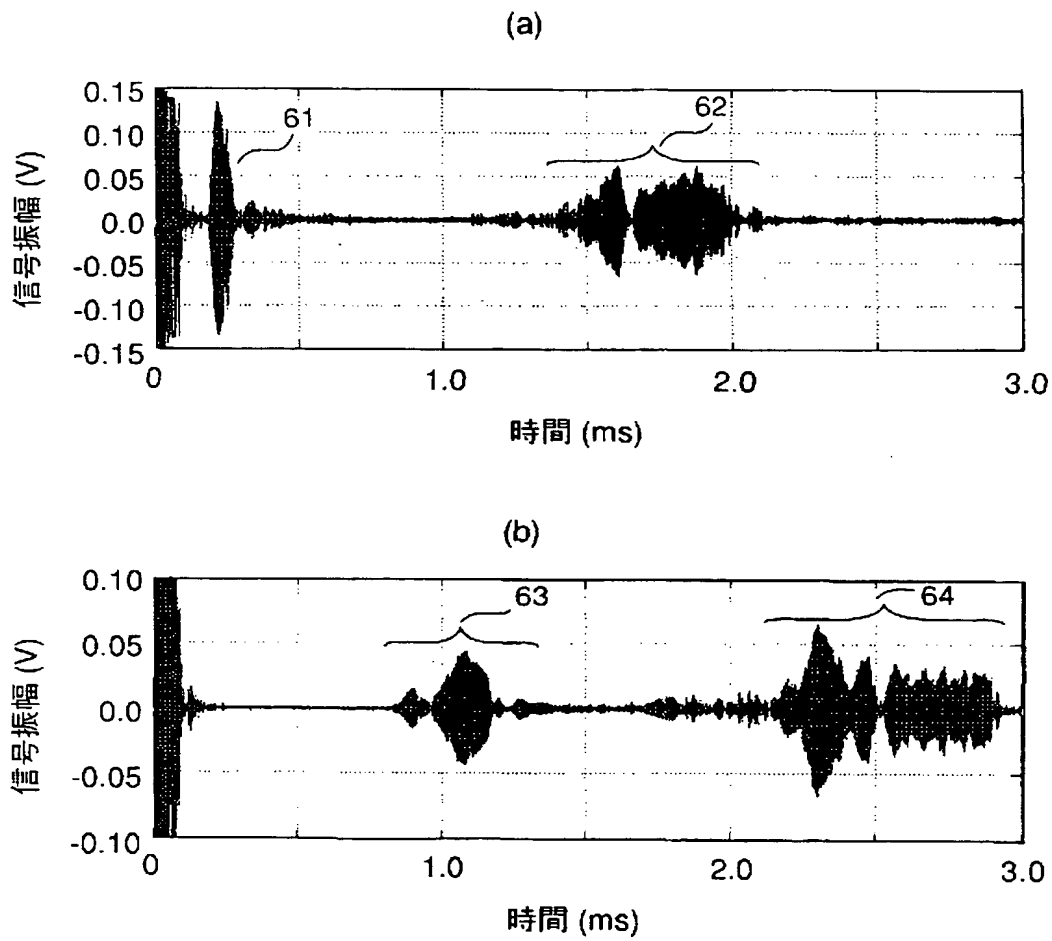


L(0,3)モード



【図 29】

図 29



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

ガイド波の群速度が変化する周波数帯域を利用しながらも、長距離区間を一括して感度良く検査可能な非破壊検査方法及び装置を提供すること。

【解決手段】

波形作成・解析手段 5 に、配管の肉厚と、材質または音速、及び検査すべき領域 R、並びに基準波形が入力される。基準波形によるガイド波が検査領域 R の中心位置にある欠陥 D o で反射してガイド波送受信素子 1 で受信されるとき波形を、肉厚と材質に基づき計算し、計算した受信波形で受信時間が遅いものから順に送信するように送信波形を作成する。ガイド波送受信手段 3 でガイド波送受信素子 1 に送信波形に基づく信号を印加して、ガイド波 8 を発生させる。ガイド波送受信手段 3 でガイド波送受信素子 1 からのガイド波 8 の受信波形を受信する。A/D変換器 4 で信号をデジタル信号に変換する。波形作成・解析手段 5 は、デジタル信号を検査結果として表示手段 7 に表示する。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 1 7 5 6 8 3
受付番号	5 0 3 0 1 0 2 9 2 2 5
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 5 年 6 月 2 3 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成15年 6月20日

次頁無

特願 2 0 0 3 - 1 7 5 6 8 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 1 0 8]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 1 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区神田駿河台 4 丁目 6 番地

氏 名

株式会社日立製作所